

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

**Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica**

Profesor Patrocinante:
Dr. Enrique Suárez Silva
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile

**RECOMENDACIONES PARA LA EVALUACIÓN
DEL IMPACTO ACÚSTICO DE PROYECTOS
AEROPORTUARIOS**

*Tesis presentada como parte de los requisitos
para optar al grado de Licenciado en
Acústica y al título profesional de Ingeniero
Acústico.*

**JUAN GABRIEL ACUÑA CARTES
VALDIVIA - CHILE
2006**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
CAPÍTULO I: TEORÍA DEL RUIDO DE AERONAVES	10
1. PROPAGACIÓN DE ONDAS SONORAS EN EL AIRE	10
2. CÁLCULO TEÓRICO APROXIMADO DEL NIVEL EFECTIVO DE EXPOSICIÓN SONORA L_{AE}	12
3. MECANISMOS DE ATENUACIÓN DEL RUIDO EN LA ATMÓSFERA	14
4. DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO EN AERONAVES	18
4.1 AERONAVES CON MOTOR TIPO ALTERNATIVO PROPULSADAS POR HÉLICES.....	18
4.2 TURBORREACTORES O MOTORES A CHORRO.....	19
4.2.1 RUIDO DE TURBORREACTORES.....	19
4.3 MOTOR TURBOFAN O TURBOVENTILADOR.....	22
4.4 AERONAVES PROPULSADAS POR TURBOHÉLICE.....	22
4.5 RUIDO GENERADO POR HELICÓPTEROS CONVENCIONALES.....	23
5. RUIDO SUPERSÓNICO	24
6. ATENUACIÓN DEL RUIDO DEBIDO AL CHORRO DE GASES DEL TURBORREACTOR	24
7. RUIDO DE AERONAVES GENERADO POR OPERACIONES EN TIERRA (RUN – UP)	26
7.1 MITIGACIÓN DEL RUIDO EN LAS OPERACIONES RUN – UP.....	26
7.1.2 OPCIONES DE CONTROL DE RUIDO PARA OPERACIONES RUN – UP.....	27
8. NIVELES DE RUIDO DE AERONAVES SEGÚN ISO 3891	29
8.1 NIVEL DE RUIDO PERCIBIDO L_{PN}	29
8.2 NIVEL DE RUIDO PERCIBIDO EFECTIVO L_{EPN}	31
9. ÍNDICES DE EXPOSICIÓN	32
9.1 COMPOSITE NOISE RATING (CNR).....	33
9.2 NOISE EXPOSURE FORECAST (NEF).....	33
9.3 NOISE AND NUMBER INDEX (NNI).....	34
9.4 ÍNDICE ISOFÓNICO (N).....	34
9.5 DOSIS TOTAL DE RUIDO (B).....	35
9.6 ÍNDICE STOVINDEZ (Q).....	35
10. ÍNDICES DE VALORACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL	35
10.1 NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE Leq	36
10.2 NIVEL SONORO PERCENTIL L_p	36
10.3 NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA SEL	37
10.4 NIVEL SONORO CORREGIDO DÍA – NOCHE L_{DN}	37
11. PARÁMETROS DE VALORACIÓN DEL RUIDO DE TRÁFICO AÉREO	38
12. HUELLAS SÓNICAS DE AERONAVES	39

CAPÍTULO II: EL RUIDO COMO FACTOR AMBIENTAL EN CHILE.....	40
13. EL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	40
14. EL RUIDO EN EL SEIA.....	40
14.1 REQUISITOS ACÚSTICOS PARA LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN PROYECTO EN EL MARCO DE UNA DÍA.....	41
14.2 REQUISITOS FUNDAMENTALES DE MEDICIONES DE RUIDO EN UN EIA.....	42
14.3 PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO.....	43
14.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DEL IMPACTO ACÚSTICO.....	44
14.5 PLAN INFORMATIVO CON LA COMUNIDAD.....	44
14.6 PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....	45
14.7 NORMAS ACÚSTICAS DE REFERENCIA EN EL SEIA.....	45
15. OBJETIVO Y APLICACIÓN DEL D.S. Nº 146/97.....	46
16. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA CHILENA Nch 1619/79.....	47
17. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO 814.41 SUIZO.....	48
CAPÍTULO III: REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA EL RUIDO DE AERONAVES.....	49
18. INTRODUCCIÓN.....	49
19. POLÍTICAS Y REGULACIONES DE RUIDO DE LA U.S. F.A.A.....	50
19.1 AIRPORT NOISE AND CAPACITY ACT (ANCA) DE 1990.....	50
19.2 U.S. F.A.R. PARTE 36.....	50
19.3 U.S. F.A.R. PARTE 91.....	50
19.4 U.S. F.A.R. PARTE 150.....	51
19.4.1 ELEMENTOS DE LA F.A.R. PARTE 150.....	51
19.4.2 PLANOS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO, NEMS.....	51
19.4.3 ESTÁNDARES Y SISTEMAS DE LA F.A.R. PARTE 150.....	54
19.4.4 PROGRAMA DE COMPATIBILIDAD AL RUIDO (NCP).....	54
19.4.5 FINALIZACIÓN DEL NCP.....	55
19.5 U.S. F.A.R. PARTE 161.....	55
20. REGULACIÓN DEL RUIDO DE AERONAVES DE LA OACI (ANEXO 16).....	55
20.1 PUNTOS DE REFERENCIA PARA MEDICIONES DE RUIDO.....	56
20.2 NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO.....	57
20.2.1 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 1. (<i>APPROACH</i>).....	57
20.2.2 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 2. (<i>LATERAL</i>).....	57
20.2.3 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 3. (<i>FLYOVER</i>).....	58
20.3 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE REFERENCIA.....	58
20.4 COMPENSACIONES.....	59
21. POLÍTICAS VIGENTES DE LA OACI.....	59
21.1 MITIGACIÓN DEL RUIDO EN SU FUENTE.....	59
21.2 RESTRICCIONES A LAS OPERACIONES.....	60
21.3 PROCEDIMIENTOS DE ATENUACIÓN DEL RUIDO.....	60
21.4 PLANIFICACIÓN DEL USO DE SUELOS.....	60
21.5 DERECHOS RELACIONADOS CON EL RUIDO.....	60
21.6 ACTUALIDAD.....	61
22. DIRECTIVA 92/14/CEE RELATIVA A LA LIMITACIÓN DEL USO DE AVIONES.....	61
23. VALORES LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL RUIDO DE LOS AEROPUERTOS REGIONALES Y CAMPOS DE AVIACIÓN SEGÚN EL REGLAMENTO SUIZO 814.41.....	62
24. NORMATIVA INTERNACIONAL ESPECÍFICA.....	63

CAPÍTULO IV: MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.....	64
25. INTRODUCCIÓN A LA MODELACIÓN ACÚSTICA.....	64
26. MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.....	67
26.1 INTRODUCCIÓN.....	67
26.2 TIPOS DE SOFTWARES DE MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.....	67
26.2.1 EL MODELO INM (INTEGRATED NOISE MODEL).....	68
26.2.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN.....	69
26.2.1.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE INM.....	70
26.2.1.3 DATOS DE ENTRADA.....	72
26.2.1.4 DESCRIPCIÓN DEL AEROPUERTO.....	72
26.2.1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS TRAYECTORIAS.....	73
26.2.1.6 DESCRIPCIÓN DE AERONAVES Y OPERACIONES.....	73
26.2.1.7 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	74
26.2.1.8 TIPOS DE PARÁMETROS.....	75
27. MODELOS RECIENTES PARA MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.....	76
27.1 INTRODUCCIÓN.....	76
27.2 ANTECEDENTES.....	76
27.3 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS RNM Y NMSim.....	78
27.4 OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS.....	80
27.5 EJEMPLOS.....	80
28. EL MODELO HNM (HELIPORT NOISE MODEL).....	82
29. EL MÉTODO DE ÁREA EQUIVALENTE (AEM).....	83
CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO DE AEROPUERTOS.....	85
30. ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO DE AEROPUERTOS EN CHILE.....	85
30.1 SEGUNDA PISTA AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ.....	85
30.1.1 PROCEDIMIENTOS PARA LAS MEDICIONES DE RUIDO.....	85
30.1.2 MODELACIÓN EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y ACTIVIDADES TERRESTRES.....	87
30.1.2.1 MODELACIÓN DE RUIDO EN PRUEBA DE MOTORES RUN-UP.....	89
30.1.3 MODELACIÓN PARA ETAPA DE OPERACIÓN DEL PROYECTO.....	90
30.1.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE RUIDO AÉREO.....	90
30.1.5 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	90
30.1.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	91
30.1.7 EVALUACIÓN PARA FUENTES FIJAS.....	92
30.1.8 EVALUACIÓN PARA LA ETAPA DE OPERACIÓN.....	92
30.1.9 MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	93
30.1.10 PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL.....	93
30.2 OTROS AEROPUERTOS EN CHILE.....	94
30.2.1 PROYECTO NUEVO AEROPUERTO IV REGIÓN.....	94
30.2.2 PROYECTO NUEVO AEROPUERTO IX REGIÓN.....	95
30.2.3 COMPARACIONES Y OBSERVACIONES.....	97
31. ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO EN AEROPUERTOS EUROPEOS.....	99
31.1 MAPA DE RUIDO DEL AEROPUERTO DE ZARAGOZA – ESPAÑA.....	99
31.2 ESTUDIO REALIZADO EN 51 AEROPUERTOS EUROPEOS.....	101
31.2.1 SITUACIÓN DE RUIDO DE REFERENCIA.....	101
31.2.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....	101
31.3 MODELACIÓN DEL RUIDO DE AERONAVES EN EL REINO UNIDO.....	102

31.3.1 SISTEMA NTK Y MEDICIONES DE RUIDO.....	103
31.3.2 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	103
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO.....	105
32. INTRODUCCIÓN.....	105
33. PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO.....	105
33.1 ELECCIÓN DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN ACÚSTICA.....	105
33.2 CONSIDERACIONES EN LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE.....	106
33.2.1 ATENUACIÓN LATERAL DE INM.....	107
33.2.2 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	107
33.3 METODOLOGÍA PARA LA MODELACIÓN DEL RUIDO.	110
34. MEDICIONES DE LOS NIVELES DE RUIDO.....	111
35. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.	113
35.1 MODELACIÓN DE RUIDO PARA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	113
35.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO EN FAENAS DE CONSTRUCCIÓN.....	115
35.3 PLAN INFORMATIVO CON LA COMUNIDAD DURANTE FAENAS DE CONSTRUCCIÓN.....	117
35.4 PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL.....	118
36. ETAPA DE OPERACIÓN DEL AEROPUERTO.....	118
36.1 MEDIDAS DE CONTROL DE RUIDO.....	118
36.1.1 CONTROL DE RUIDO EN LA FUENTE.....	118
36.1.2 CONTROL DE RUIDO EN OPERACIONES TERRESTRES.....	119
36.1.2.1 CONSIDERACIONES PARA PRUEBAS RUN-UP.....	119
36.1.3 PROCEDIMIENTOS PARA LAS OPERACIONES DE VUELO.....	120
36.1.4 CONTROL DE RUIDO EN LOS RECEPTORES.....	120
36.1.5 MITIGACIÓN DEL RUIDO A TRAVÉS DEL COBRO DE DERECHOS.....	121
36.2 EVALUACIÓN DEL RUIDO MEDIANTE PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.....	122
CONCLUSIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXO I	
ADVISORY CIRCULAR 150/5020-1: NOISE CONTROL AND COMPATIBILITY PLANNING FOR AIRPORTS, CHAPTER 3: <i>TOOLS OF AIRPORT NOISE COMPATIBILITY PLANNING</i> . SECTION 1: ELEMENTS OF AIRPORT NOISE COMPATIBILITY PLANNING.....	134
ANEXO II	
ADVISORY CIRCULAR 91-53A: NOISE ABATEMENT DEPARTURE PROFILES.....	138
ANEXO III	
TABLA PARA EL CÁLCULO DE LA RUIDOSIDAD PERCIBIDA (<i>N</i>) EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (<i>NPS</i>) PARA BANDAS DE FRECUENCIA DE 1/3 DE OCTAVA.....	142
AGRADECIMIENTOS.....	146

RESUMEN

Este estudio está enfocado al desarrollo de recomendaciones de evaluación de impacto acústico para proyectos de nuevos aeropuertos, la construcción de nuevas pistas, o cualquier proyecto aeroportuario que implique un estudio de las variables ambientales-acústicas en Chile.

En primer lugar, se realiza un estudio sobre la teoría del ruido de las aeronaves, teniendo en cuenta los mecanismos que influyen en la propagación del sonido en exteriores, las descripciones del ruido de los turborreactores, procedimientos de mitigación del ruido, índices de evaluación del ruido ambiental y aeronáutico, entre otros aspectos.

Además, se analiza el tratamiento del ruido en la legislación ambiental chilena, así como también se realiza un análisis de los diferentes tipos de regulaciones internacionales para el ruido de aeronaves, ya sea mediante planes de evaluación para los usos de suelos en entornos aeroportuarios, mediante la normativa estadounidense F.A.R. parte 150, y medidas de homologación y políticas vigentes de la Organización de Aviación Civil Internacional - OACI.

Otro aspecto que se considera, es el análisis de los diferentes programas computacionales para la modelación del ruido de aeronaves, donde dentro de estos programas, destaca el Modelo de Ruido Integrado - INM, utilizado para estudios de impacto ambiental.

En forma breve, fueron mostradas y analizadas las principales metodologías que se llevaron a cabo para la realización de estudios de impacto acústico en Chile y en Europa, para finalmente, de acuerdo a los estudios previos, formular y proponer recomendaciones de evaluación de impacto acústico para los proyectos de nuevos aeropuertos (o proyectos similares) que deban ser sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en Chile.

ABSTRACT

This study is focused on the development of recommendations of evaluation of acoustic impact for projects of new airports, the construction of new runways, or any airport project that implies a study of the environmental – acoustic variables in Chile.

First of all, a study is realized on the theory of the aircraft noise, bearing in mind the mechanisms that influence the spread of the sound location, the descriptions of the noise of the turbojets, procedures of mitigation of the noise, indexes of evaluation of the environmental and aeronautical noise, between other aspects.

Also, the treatment of the noise is analyzed in the environmental Chilean legislation, as well as also there is realized an analysis of the different types of international regulations for the noise of airships, either be by means of plans of evaluation for the uses of soils in airport environments, by means of the U.S. Regulation F.A.R. Part 150, and measurements of homologation and political current of the International Civil Aviation Organization – ICAO.

Another aspect that it is considered, is the analysis of the different software for the modeling of the aircraft noise, where it highlights inside these programs, the Integrated Noise Model – INM used for studies of environmental impact.

In brief form, it were showed and analyzed the principal methodologies that were carried out for the achievement of studies of acoustic impact in Chile and in Europe, for finally, in accordance with the studies previous, formulate and to propose recommendations of evaluation of acoustic impact for the projects of new airports (or similar projects) that they should be submitted to the System of Evaluation of Environmental Impact (SEIA) in Chile.

INTRODUCCIÓN

Diferentes tipos de contaminación acústica irrumpen hoy en día en nuestro diario vivir. Desde el punto de vista económico esto implica un costo real por la desvalorización de los espacios afectados, además de costos que por lo general no se tienen en cuenta, como es el caso de la salud.

Una de las causas de ruido más comunes es el ruido de transportes, ya sea de pasajeros o de cargas, terrestre o aéreo. De todos los medios de transportes, las aeronaves son las generadoras de las mayores cantidades de energía acústica, lo que unido a su dependencia a los aeropuertos, provoca que las molestias por ruidos tomen gran importancia en sus alrededores.

Los proyectos aeroportuarios consideran la construcción de nuevos aeropuertos, nuevas pistas, o su remodelación. Estos proyectos son susceptibles de causar impacto acústico en cualquiera de sus fases. Dentro de la elaboración de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se debe desarrollar un completo estudio acústico donde se indican los antecedentes necesarios para determinar si el impacto que generará o presentará el proyecto se ajusta a las normas ambientales vigentes.

Para los especialistas del área medioambiental se hace necesario el desarrollo de antecedentes acústicos necesarios para la correcta comprensión de este tipo de ruido. Sin lugar a dudas que este trabajo no debe ser una “receta” de evaluación para este tipo de proyectos, sino una herramienta de apoyo o un procedimiento guía, el que podría permitir a las diferentes empresas consultoras medioambientales realizar estudios con mejor información acerca del tema, como también permitiría a la autoridad ambiental competente y a los diversos órganos de la administración del estado con competencia ambiental contar con más antecedentes al momento de calificar un EIA, o de evaluar una DIA, en el ámbito de un proyecto aeroportuario.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar, analizar y exponer información acerca del ruido de las aeronaves alrededor de los aeropuertos y proveer los antecedentes necesarios para su correcta evaluación e interpretación.
- Formular y proponer recomendaciones de evaluación de impacto acústico para proyectos de nuevos aeropuertos o proyectos similares, acordes a estándares nacionales e internacionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En el marco del objetivo general y en concordancia con el propósito de esta tesis, los objetivos específicos son:

- Exponer los principales elementos teóricos que describen el ruido de las aeronaves.
- Analizar las características relevantes de un estudio de impacto acústico en Chile en el ámbito de un estudio de impacto ambiental o una declaración de impacto ambiental dentro de la legislación ambiental chilena.
- Estudiar directivas, reglamentos, políticas y regulaciones internacionales relacionados con el ruido de aeronaves.
- Describir y analizar los programas computacionales de modelación del impacto acústico de aeronaves para entornos aeroportuarios.
- Investigar, analizar y considerar las metodologías de evaluación de impacto acústico expuestas en los estudios de impacto ambiental de proyectos de aeropuertos chilenos.
- Revisar los sistemas utilizados para la modelación y evaluación del ambiente sonoro en aeropuertos extranjeros.

CAPÍTULO I: TEORÍA DEL RUIDO DE AERONAVES

1. PROPAGACIÓN DE ONDAS SONORAS EN EL AIRE.

La energía acústica de una fuente viaja por el medio, ya sea a través de estructuras sólidas o en el aire. Al tratar de ruido procedente de aeronaves, se deberá hacer mención especial a las ondas que son propagadas a través de la atmósfera, y de los mecanismos que reducen su energía a lo largo del medio de transmisión. Estos mecanismos son: la difracción o dispersión de la energía; la reflexión de la energía; y la absorción. [18]

Si se considera una fuente sonora puntual omnidireccional, es decir, una fuente que radia energía de manera uniforme en todas las direcciones (factor de directividad $Q = 1$), en condiciones de campo libre, se produce una disminución de 6 dB en el nivel de presión sonora cada vez que se dobla la distancia a la fuente (figura 1), mientras que si la fuente es lineal, la atenuación será de 3 dB al duplicar la distancia. [18][35]

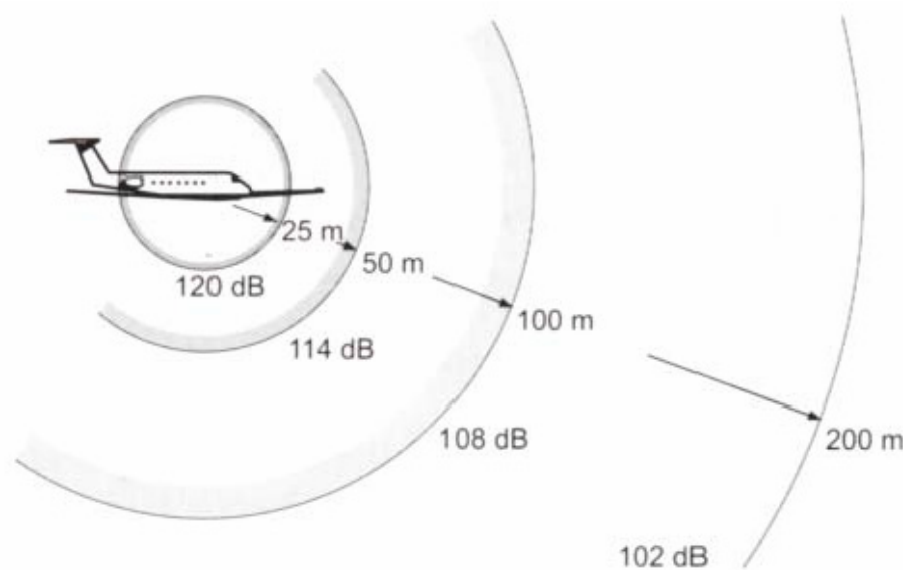


Figura 1. Ejemplo de propagación esférica en campo libre. Fuente: [35]

En general, las fuentes no son ni puntuales ni omnidireccionales, sino que emiten con niveles diferentes en cada dirección y en cada frecuencia. Una fuente sonora puede ser considerada

como puntual, siempre que sus dimensiones sean pequeñas en relación a la distancia que la separa del receptor. La fuente puntual ideal, produce una perturbación que en condiciones de campo libre, se propaga con un frente de onda esférico en 3D, como las ondas que generaría una aeronave volando a 1000 [m] de altura, por ejemplo, para un individuo situado en tierra. En este caso, se dispone de un espacio de propagación ilimitado, midiéndose el mismo campo sonoro en todas las direcciones. La intensidad sonora I , es el flujo de energía W por unidad de superficie, y viene dada por la expresión [18]:

$$I = W/4\pi r^2 \quad \text{Ec. 1}$$

donde: r es la distancia del frente de ondas a la fuente.

Si la aeronave se encuentra en vuelo rectilíneo, pero no muy alejada del receptor ubicado en tierra, se tendrá una fuente lineal (figura 1.1). Se admite, que el ruido procede de la superposición de los ruidos, ocasionados por fuentes puntuales, distribuidas linealmente a lo largo de la trayectoria de la aeronave, con la misma potencia acústica, de modo que puede definirse una potencia acústica por unidad de longitud. El frente de propagación de la onda será una superficie cilíndrica, de eje la trayectoria rectilínea de la aeronave. [18]

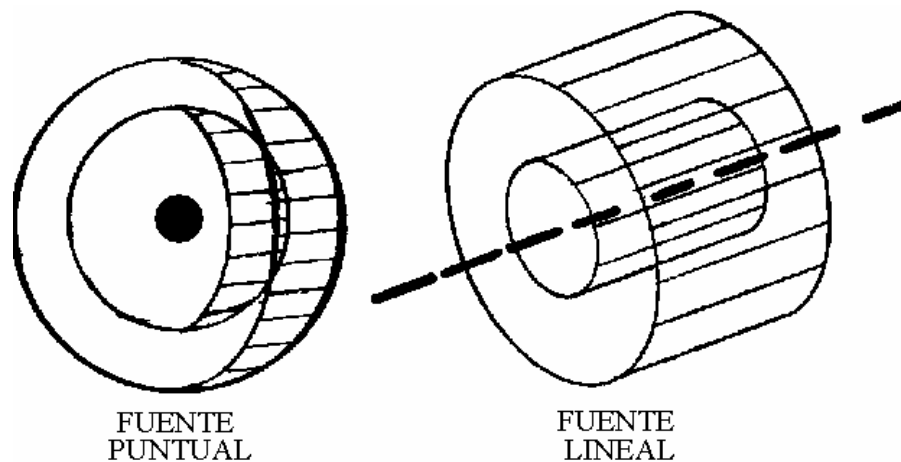


Figura 1.1. Propagación esférica y cilíndrica de las ondas sonoras. Fuente: [18]

2. CÁLCULO TEÓRICO APROXIMADO DEL NIVEL EFECTIVO DE EXPOSICIÓN SONORA L_{AE} .

Si se admite una fuente de ruido P, de tipo puntual (figura 2), que se mueve según una recta con velocidad constante v (la potencia acústica será constante), y que la propagación sonora se efectúa en condiciones de campo libre, se verifica, para un receptor ubicado a una distancia l de la fuente emisora, que el nivel sonoro detectado $L(t)$ es [18]:

$$L(t) = L_{A,máx} + 10 \log (h / l)^2 \quad \text{Ec. 2}$$

siendo: $L_{A,máx}$, nivel sonoro máximo que se percibe cuando l coincide con h . En esta posición se elegirá el origen de tiempo, $t = 0$.

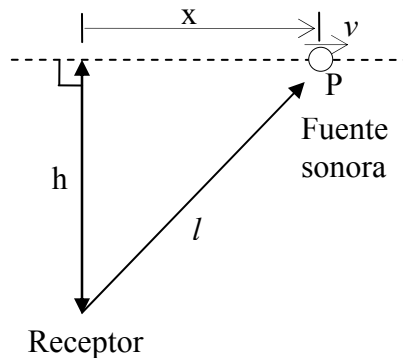


Figura 2. Fuente puntual desplazándose con movimiento rectilíneo uniforme.

Fuente: Elaboración propia en base a [18]

La relación $(h / l)^2$ representa el factor de atenuación del nivel sonoro debido a la distancia entre receptor y fuente. La posición de la fuente para obtener una atenuación de 10 dB respecto del valor máximo, vendrá dado por:

$$(h / l)^2 = 1/10$$

y, al verificarse: $l^2 = x^2 + h^2$, con $x = vt$, resultará: $vt / h = \pm 3$

Por otra parte, el nivel efectivo de exposición sonora L_{AE} es:

$$L_{AE} = L_{A,m\acute{a}x} + 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{v}{h} \right)^2 t^2 \right]} dt \right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

si se define: $\sigma = \arctg (vt / h)$, y se diferencia, se obtiene:

$$dt = \frac{h}{v} \frac{d\sigma}{\cos^2 \sigma}$$

siendo: $(1 / [1 + (v / h)^2 t^2]) = \cos^2 \sigma$, valores que sustituidos en la expresi3n del L_{AE} :

$$L_{AE} = L_{A,m\acute{a}x} + 10 \log \left(\frac{h}{v \cdot T_0} \pi \right) \quad \text{Ec. 3}$$

si se toma $\pi = 3$, en lugar de 3,14159..., el error te3rico que se comete es del orden de 0,2 dB.

A partir de esta expresi3n final puede afirmarse que el nivel efectivo de exposici3n sonora L_{AE} , se incrementa con la distancia +3 dB al doblarse la distancia, pero como $L_{A,m\acute{a}x}$ disminuye 6 dB al doblarse la distancia, el valor definitivo del nivel sonoro L_{AE} disminuir3 3 dB. Tambi3n es destacable que una velocidad v muy elevada, disminuye el valor del L_{AE} . [18]

En la norma ISO 3891 [8] se definen los valores aproximados de los niveles efectivos de ruido percibido durante el sobrevuelo de aeronaves, L_{AE} y L_{EPN} , donde se considera al Nivel Efectivo de Exposici3n Sonora L_{AE} , como:

$$L_{AE} = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} 10^{\frac{L_A}{10}} dt \right) \quad \text{Ec. 3.1}$$

donde, $T_0 = 1$ [s].

L_{EPN} (Nivel de ruido percibido efectivo) ser3 detallado m3s adelante.

3. MECANISMOS DE ATENUACIÓN DEL RUIDO EN LA ATMÓSFERA.

La propagación del sonido a través de la atmósfera, generalmente, decrece de nivel con el incremento de la distancia entre la fuente y el receptor. Esta atenuación viene producida por varias circunstancias, que deberán considerarse si se admite una propagación a gran distancia, así se tendrán [18]:

- Atenuación causada por la divergencia geométrica de la fuente.
- Atenuación debida a barreras u obstáculos emplazados entre el receptor y la fuente.
- Absorción de la energía acústica en la atmósfera.
- Atenuación como resultado de la atmósfera no ideal, en la que dominan los vientos y las variaciones de temperatura, y donde se encuentran gases no ideales, niebla, humo.

En la práctica, se debe calcular el nivel sonoro a una determinada distancia de la fuente emisora, y restarle las diversas atenuaciones teniendo en cuenta que dependen de la frecuencia.

La atenuación causada por la divergencia de la fuente, se centra en dos aspectos:

- Si la radiación, supuesta de tipo esférico, no alcanza todo el espacio, afectando solo a un ángulo sólido w , se producirá una variación del nivel sonoro, de valor:

$$+ 10 \log (4\pi / w)$$

en el supuesto de radiación según una semiesfera, es decir, el foco puntual sonoro se halla sobre el suelo, se deduce un aumento de nivel de 3 dB.

- Si el sonido no es radiado uniformemente según todas las direcciones, la atenuación dependerá de la distancia entre el receptor y la fuente. Para distancias superiores a 100 [m] no es preciso considerar este tipo de atenuación.

La atenuación debida a barreras se presenta cuando las ondas sonoras se difractan al encontrarse un obstáculo, siendo desviadas y variando su dirección. La mayoría de los cálculos necesarios para ser aplicados a la difracción se refieren a ecuaciones generales para

ondas en torno a obstáculos que son obtenidas con las integrales de *Fresnel*, tabuladas en diversos libros de cálculo matemático.

La energía acústica es absorbida en la atmósfera al amortiguarse las ondas a causa del rozamiento interno y de la conductibilidad calorífica del aire. El valor de la amortiguación fue calculado teóricamente por *Stokes* y *Kirchoff*, pero los valores experimentales medidos en el aire son muy superiores, puesto que no se tenían presente los procesos de relajación, en particular de uno de los componentes del aire, las moléculas de oxígeno, produciéndose una absorción molecular que origina el error en el valor teórico, de ahí que la humedad del aire tenga una importancia fundamental. [18]

La norma ISO 9613-2 [15] explica un método de ingeniería para el cálculo de la amortiguación o atenuación sonora en exteriores para predecir los niveles de ruido a una distancia determinada.

Se especifica una ecuación básica para determinar el nivel de presión sonora continuo equivalente en el receptor, $L_{fT}(DW)$, para una fuente puntual:

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \quad \text{Ec. 4}$$

donde L_w es el nivel de potencia sonora por banda de octava en decibeles, producida por una fuente puntual relativa a una potencia sonora de referencia de $1 \cdot 10^{-12}$ [watt] (1 pW), D_c es la corrección de directividad en decibeles, (la desviación del nivel de potencia con respecto a una fuente omnidireccional toma el valor cero para una fuente omnidireccional en campo libre), y A es la atenuación por banda de octava en decibeles, que ocurre durante la propagación de la fuente al receptor.

La atenuación por banda de octava viene dada por:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad \text{Ec. 5}$$

La divergencia geométrica, A_{div} , corresponde a la propagación de un frente de onda esférico en campo libre desde una fuente puntual.

$$A_{div} = [20 \log (d / d_0) + 11] \text{ dB} \quad \text{Ec. 6}$$

donde d es la distancia fuente – receptor en metros, y d_0 es la distancia de referencia (1 [m]).

La absorción atmosférica, A_{atm} , viene dada por la ecuación:

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad \text{Ec. 7}$$

donde α es el coeficiente de atenuación atmosférico en decibeles por kilómetro, en cada frecuencia central de banda de octava, y d es la distancia de propagación en metros.

La normativa ISO 9613-2 determina dos métodos para el cálculo de la atenuación por el efecto de suelo A_{gr} , el método de cálculo general y el método alternativo.

- El método de cálculo general estipula que la curvatura de la propagación asegura que la atenuación es determinada prioritariamente por las superficies cerca de la fuente y del receptor, donde se distinguen tres zonas: región de fuente, región media y región de receptor.

A través de un factor de suelo G (según suelo duro, poroso o mixto), se obtienen las atenuaciones para cada zona, esto es:

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad \text{Ec. 8}$$

- El método alternativo está estipulado bajo las siguientes condiciones:
 - Sólo interesa el nivel de presión sonora ponderado A en el receptor.
 - La propagación sonora ocurre sobre suelo poroso o mixto.
 - La onda sonora no es un tono puro.

Se puede calcular esta atenuación mediante la ecuación:

$$A_{gr} = 4,8 - (2h_m / d)[17 + (300 / d)] \geq 0 \text{ dB} \quad \text{Ec. 9}$$

donde h_m es la altura media del camino de propagación sobre el suelo, en metros, y d es la distancia fuente – receptor, en metros.

Nota: Si bien el estándar ISO 9613 excluye el ruido de aviación, es aplicable al caso de aeronaves a baja altura, como ocurre en las proximidades de los aeropuertos (aterrizajes y despegues). [16]

Finalmente, se consideran las condiciones climatológicas o meteorológicas como causa de la atenuación de las ondas sonoras. El calentamiento de la atmósfera se realiza a partir de la superficie de la tierra cuya temperatura depende en gran parte de la radiación solar, debido a las diferencias de temperatura se producen irregularidades en la presión del aire que tienen como consecuencia movimientos del mismo, modificándose su velocidad debido a los remolinos producidos por la rugosidad de la superficie terrestre, vegetación y edificaciones. El viento será uno de los diferentes factores que influyen en la propagación del sonido, así como la temperatura del aire. [18]

Además, en el aire se encuentran pequeñas partículas sólidas en forma de polvo o niebla. En pequeñas concentraciones estas mezclas son de influencia despreciable sobre la propagación del sonido, pero en grandes concentraciones ocasionan una absorción apreciable.

Si se valoraran en conjunto las condiciones meteorológicas de la atmósfera en el momento de efectuar una medición sonora, se pueden encontrar dos casos extremos de valor considerable, para una misma distancia fuente – receptor [18]:

- En una atmósfera estable, sin viento, con un gradiente de temperatura casi nulo, se obtendrían fluctuaciones del nivel sonoro en torno a 4 dB.
- Si la atmósfera presenta condiciones de inestabilidad, con vientos y gradientes de temperatura no nulos, se tendrían variaciones entre 15 dB y 20 dB.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO EN AERONAVES.

Una aeronave se puede considerar como un sistema mecánico donde existen una serie de elementos o fuentes generadoras de ruido con características físicas completamente diferentes, entre las que actualmente, destaca el motor a reacción (turborreactor) como una de las más potentes fuentes sónicas creada por el hombre.

Las fuentes sonoras, van parejas a la evolución del tráfico aéreo, desde las aeronaves propulsadas a hélice y dotadas de motores de tipo alternativo, hasta las equipadas con turborreactores. El ruido provocado por otras fuentes, como serían: los sistemas de ventilación y aire acondicionado, los ejes de transmisión y engranajes, los sistemas de tipo hidráulico, entre otros, que podrían tener su efecto e importancia relativa para los tripulantes y pasajeros de la aeronave, no se analizarán, puesto que su potencia sonora es mínima frente al ruido del turborreactor. [18]

4.1 AERONAVES CON MOTOR TIPO ALTERNATIVO PROPULSADAS POR HÉLICES.

El ruido producido por las aeronaves propulsadas por hélices, es generado principalmente por las propias hélices, y por el grupo motor tipo alternativo que las mueve. En la mayor parte de los casos, el nivel de ruido de la propia hélice, es mucho más importante.

La contribución principal de ruido de los motores alternativos es debida al escape de los gases de la combustión, que puede reducirse mediante el uso de silenciadores, cuyo diseño básico se fundamenta en la teoría de diseño de filtros acústicos.

Una pala o hélice giratoria, emite ondas sonoras que se originan, ya sea por vibraciones por la flexión de las palas, de escasa importancia puesto que en la fase de diseño se impone que no superen un valor determinado, y básicamente, por la rotación de la pala, y por los remolinos que se producen debido a la inestabilidad del flujo existente detrás de una pala en movimiento, siendo más significativos a bajas velocidades.

Existen teorías que explican de forma adecuada el comportamiento de una pala aerodinámica

en rotación como foco sonoro, basándose en el empuje ocasionado por el ángulo de la pala, por su forma arqueada y su espesor. Estas mismas teorías tratan la atenuación del ruido producido por la pala, así, la disposición de un mayor número de palas (se aumenta el peso de la nave), una variación en el diámetro de la hélice, o una disminución del número de $Mach^1$ en el extremo de la pala (v/c , siendo c la velocidad del sonido y v la velocidad en el extremo de la pala), son factores que atenúan la emisión de ruido pero que afectan al rendimiento de la aeronave. [18]

4.2 TURBORREACTORES O MOTORES A CHORRO.

En la propulsión de las aeronaves, para conseguir grandes velocidades, se utiliza el chorro de gas que sale de una turbina de combustión. Este tipo de motor (figura 4.2), se denomina turborreactor, siendo su funcionamiento muy simple: el aire se aspira a través de un difusor en el cual se transforma en presión parte de la energía cinética adquirida como consecuencia de la velocidad de la aeronave, de ahí pasa a un compresor axial o centrífugo, que lo comprime y lo envía a la cámara de combustión donde sirve para quemar el combustible inyectado. El aire y los gases de la combustión (gases residuales) atraviesan una turbina, cediéndole a ésta, la energía necesaria para mover el compresor, y por último se expanden en un eyector que transforma la energía de presión residual en energía cinética, siendo expulsados a gran velocidad.

4.2.1 RUIDO DE TURBORREACTORES.

Al estudiar el ruido emitido por un turborreactor, se pueden distinguir tres fuentes que se corresponden con la toma de aire (ruido del compresor, del tipo sirena o aullido, y caracterizado por su contenido en frecuencias de banda estrecha centradas por encima de los 800 Hz), con la cámara de combustión (este tipo de ruido es generalmente aislado por la carcasa del motor), y con la salida de los gases de escape (donde se incluye el ruido de la turbina, que es enmascarado por el ruido del chorro a la salida de la tobera, al mezclarse el gas residual expandido con el aire circundante, presentando un espectro sonoro de banda ancha

¹ Unidad de velocidad, igual a la de propagación del sonido en el medio. [54]

con un valor máximo entre 100 Hz y 400 Hz). El ruido del gas residual de salida es netamente superior en potencia sonora al resto de los ruidos emitidos, excepto para velocidades de régimen del motor bajas, predominando entonces el ruido típico del compresor.

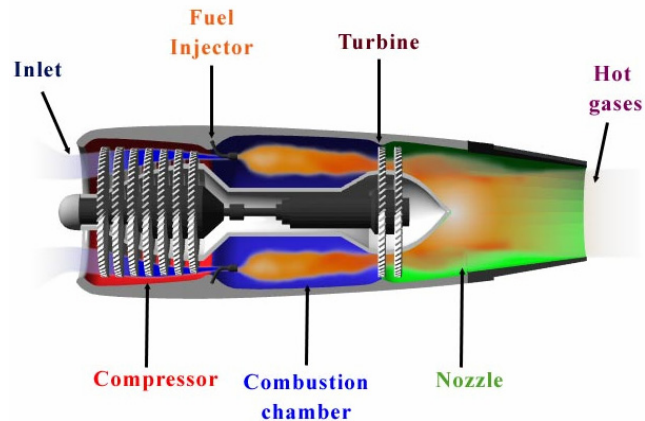


Figura 4.2. Esquema de un turborreactor. Fuente: [53]

Los turborreactores se diseñan con el fin de obtener una propulsión elevada con una configuración estructural lo más sencilla y económica posible, lo que influye directamente en el nivel de potencia sonora emitida. La obtención de un turborreactor más silencioso, implica la necesidad de reducir la velocidad de salida de los gases residuales por la tobera (nozzle), disminuyendo de este modo, el empuje del motor, que se podría tener para una carga determinada. [18]

Este problema se ha solventado, en parte, utilizando turborreactores de doble flujo (figura 4.2.1), que permiten mantener el rendimiento de propulsión a velocidades inferiores, sacrificando algo la simplicidad de diseño. En los turborreactores de doble flujo, parte del aire aspirado por un compresor de baja presión es desviado a través de un conducto, expeliéndose junto con los gases procedentes de la combustión por una tobera común.

Estos turborreactores, se basan en el principio de que puede obtenerse el mismo empuje a partir de un flujo de aire mucho mayor que el requerido por un turborreactor clásico, movido a velocidad menor, reduciéndose la emisión de ruido de modo considerable.

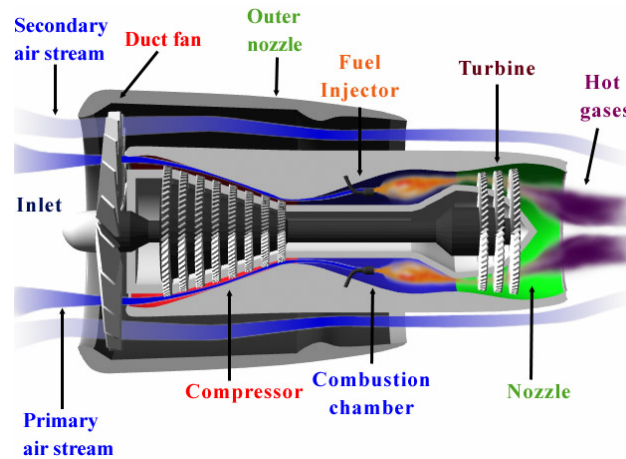


Figura 4.2.1. Esquema básico de un turborreactor de doble flujo tipo Turbofan. Fuente: [53]

El empleo de turborreactores de doble flujo es muy común en aviones comerciales y de carga, así los Boeing 707, 727 y 737, y los DC 8 y 9 entre otros. En la figura 4.2.2. se muestran superpuestos los espectros en banda de octava de los niveles máximos de presión sonora correspondientes al despegue de dos aeronaves con turborreactores de doble flujo, el Boeing-727 y el DC-8, y al despegue de una aeronave tipo Boeing-747 dotado de un motor tipo turbofan.

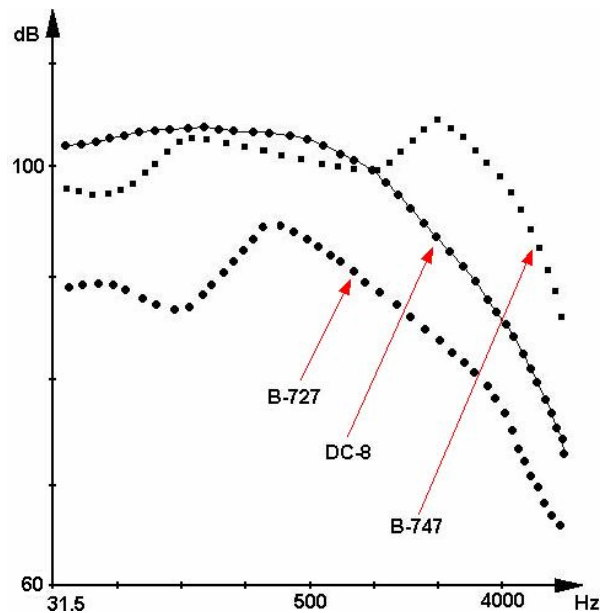


Figura 4.2.2. Ruido producido durante el despegue de diversas aeronaves comerciales.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de [18]

Para estimar la potencia acústica emitida por los turboreactores, y más en concreto, la potencia referente al chorro de combustión, se han desarrollado curvas y tablas que representan de forma empírica la relación entre la potencia sonora, y la velocidad y diámetro del chorro de los gases de escape. [18]

4.3 MOTOR TURBOFAN O TURBOVENTILADOR.

Con la finalidad de aumentar el rendimiento propulsivo del turboreactor de doble flujo, se sustituye el compresor por un gran ventilador, de este modo, a la masa de los gases de la combustión se le añade una notable masa de aire, interviniendo de gran forma en la acción propulsiva. La velocidad resultante del chorro disminuye, se produce una disminución del ruido, pero al aumentar la masa total de los gases de escape, se origina un empuje mayor. De las aeronaves equipadas con este tipo de motor, merecen destacarse el Boeing-747, el Airbus y el DC-10.

4.4 AERONAVES PROPULSADAS POR TURBOHÉLICE.

La turbohélice (figura 4.4) apareció para cubrir el campo de velocidad que separa el turboreactor del grupo motor alternativo-hélice. El rendimiento propulsivo del motor a reacción es bajo para determinadas velocidades de avance, siendo más conveniente la propulsión por hélice.

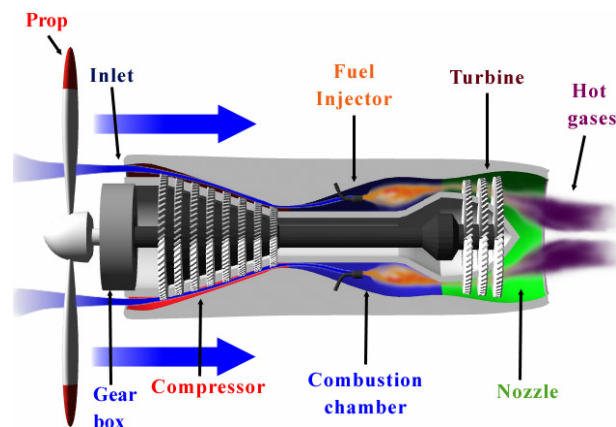


Figura 4.4. Esquema de una Turbohélice. Fuente: [53]

En la turbohélice clásica, la hélice es accionada por la misma turbina que acciona el compresor, y por otra turbina independiente colocada tras la primera. La potencia es transmitida a través de una caja reductora, al ser la velocidad de rotación de la turbina muy superior a la velocidad de giro de la hélice. En este caso las ondas sonoras provienen, primordialmente, de la rotación de las palas de la hélice del compresor, de la turbina, del chorro de los gases de escape, y de la caja reductora.

4.5 RUIDO GENERADO POR HELICÓPTEROS CONVENCIONALES.

Los helicópteros no son fuentes sonoras muy potentes a causa de la velocidad que alcanzan en comparación con los aviones, pero si muy molestos debido a su campo de operación, al sobrevolar, en muchos casos, a escasa altura o zonas con elevada población.

En un helicóptero convencional, dotado de motor alternativo, el ruido emitido (figura 4.5), se debe principalmente a los gases de escape del motor, pero no puede obviarse el ruido generado por la transmisión y engranajes que dificultan la comunicación oral en el interior, así como el ruido de los rotores, predominando el ruido rotacional del rotor de cola y el ruido de remolino del rotor principal.

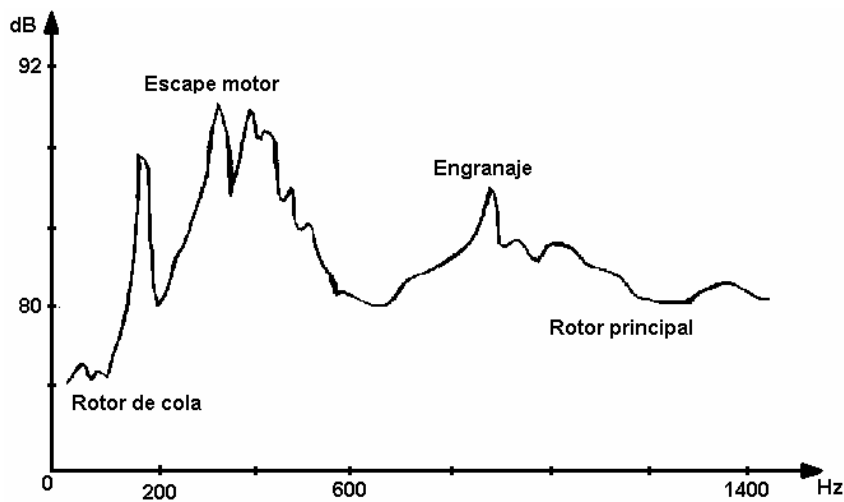


Figura 4.5. Espectro de ruido emitido por un helicóptero clásico. Fuente: [18]

5. RUIDO SUPERSÓNICO.

Una aeronave moviéndose a velocidad supersónica, origina un fenómeno acústico denominado estampido sónico (*Sonic Boom*), que es en definitiva, un ruido tipo explosivo (≈ 130 dB a 100 [m]), que es independiente de la energía sonora radiada por las fuentes señaladas anteriormente en un vuelo normal. El estampido sónico es generado por la distribución de onda de choque que se forma al desplazarse la aeronave cuando supera la barrera del sonido, y consiste en varios impulsos de presión separados por intervalos de décimas de segundo.

Los helicópteros actuales utilizan turborreactores para propulsarse y para accionamiento del rotor principal, desplazándose a plena potencia producen un ruido ensordecedor, debido a que los extremos de las palas del rotor principal entran en régimen de velocidad supersónica. Los típicos chasquidos de los helicópteros tienen lugar cuando los extremos de las palas generan microestampidos sónicos. [18]

6. ATENUACIÓN DEL RUIDO DEBIDO AL CHORRO DE GASES DEL TURBORREACTOR.

La causa principal del ruido emitido por un turborreactor es la mezcla turbulenta que se produce, en el exterior de la tobera, de los gases de la combustión, a elevada velocidad, con el aire circundante. Este tipo de ruido presenta las siguientes características: espectro de frecuencias, potencia sonora, y direccionalidad, semejantes al ruido generado por un chorro de aire al ser expulsado a través de una tobera a la atmósfera, por lo que la generación de ruido por estos motores, se estudia a partir de modelos a escala de chorro frío aplicando las técnicas del análisis dimensional.

Experimentalmente, para un chorro de característica subsónica, se ha obtenido una relación entre la potencia sonora emitida W , y la potencia mecánica del chorro W_m en [watt], que viene dada por la ecuación [18]:

$$W = \frac{8}{\pi} \cdot \delta \cdot k \cdot M^5 \cdot W_m \quad \text{Ec. 9.1}$$

donde: δ , es la relación entre la densidad del flujo de los gases de la combustión y la densidad del aire atmosférico.

k , es el coeficiente de potencia acústica, varía entre $0,3 \cdot 10^{-4}$ y $1,2 \cdot 10^{-4}$.

M , es el valor medio del número de *Mach* a la salida del chorro.

La potencia sonora emitida por un chorro subsónico ($0,3 < M < 1$) es proporcional a la sexta u octava potencia de la velocidad, en el supuesto de un chorro supersónico, la potencia generada depende de la velocidad elevada a un exponente superior al caso subsónico.

Las investigaciones teóricas y/o experimentales en la reducción del ruido emitido por el chorro del turboreactor, apuntan a reducir la velocidad de los gases de escape, y a reducir su turbulencia. Para ello se realizan experimentos con modelos a escala, centrandose principalmente todos los esfuerzos en [18]:

- La conversión del flujo de los gases de salida de alta velocidad y pequeña masa, en un flujo de baja velocidad y gran masa, haciendo uso de aspiradores y difusores de los tipos convergente – divergente, de toberas de doble flujo, o de pantallas perpendiculares al chorro.
- La variación de la forma geométrica de la tobera, cuadrada, rectangular, circular, elíptica, entre otras, o disminuyendo su diámetro, sustituyendo la tobera única por una serie de toberas de diámetro menor, toberas múltiples.
- El aumento de espesor de la zona de la tobera donde se mezclan los gases de la combustión y el aire atmosférico, ya sea colocando dispositivos del tipo dentado, toberas dentadas, etc.

Al estimar el nivel sonoro percibido por un individuo en tierra, debido al vuelo de una aeronave, se considerará que la emisión de ruido del chorro del turboreactor disminuye al aumentar la velocidad de vuelo, puesto que se reduce la velocidad relativa de los gases del chorro respecto del aire. En la figura 6 se observan las curvas que relacionan el nivel de presión sonora detectado en tierra, y producido por una aeronave B-47 equipado con seis

turborreactores, en función del tiempo, para dos velocidades de vuelo, 300 [km/h] y 790 [km/h], a una altura de 300 [m].

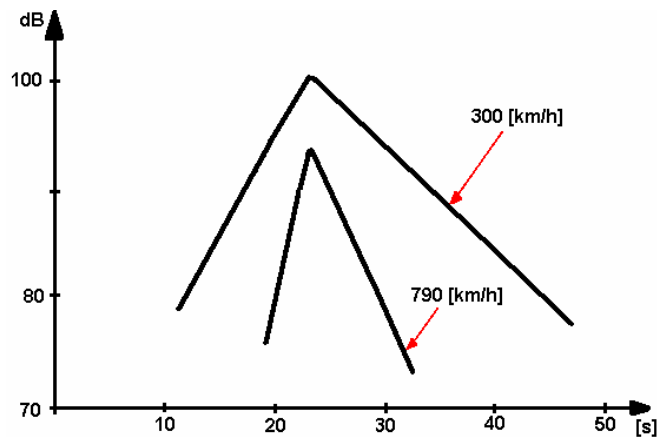


Figura 6. Ruido emitido por el sobrevuelo de un B-47. Fuente: [18]

7. RUIDO DE AERONAVES GENERADO POR OPERACIONES EN TIERRA (*RUN-UP*).

El mantenimiento de las aeronaves consiste en realizar las pruebas de motores¹ o *Run-up* en los aeropuertos comerciales, y es una preocupación que deben enfrentar muchos aeropuertos internacionales debido al ruido emitido. Las aerolíneas deben dirigir las operaciones de mantenimiento y reparación de las aeronaves. Para ciertos tipos de mantenimiento de aeronaves, la aerolínea debe dirigir la prueba de motores *run-up* para demostrar que los sistemas de vuelo de la aeronave están trabajando apropiadamente para luego poner nuevamente en servicio la aeronave. [31]

7.1 MITIGACIÓN DEL RUIDO EN LAS OPERACIONES *RUN-UP*.

Para mitigar el ruido de las operaciones *run-up* hay varias opciones disponibles. Estas opciones tienen una amplia gama de aplicaciones, costos, grado de reducción de ruido y complejidad técnica. De esta manera, esto es importante para focalizar el problema de ruido y

¹ La prueba de motores consiste en la aceleración a máxima potencia estática de los motores.

el nivel necesario de reducción de éste, para luego seleccionar las opciones de diseño que mejor direccionan el problema de ruido. Las opciones de diseño que se deben considerar son únicas para cada tipo de aeropuerto. Estas condiciones únicas incluyen disponibilidad de suelos, condiciones de viento, condiciones atmosféricas y el tipo de trabajo de mantenimiento realizado en el aeropuerto. [31]

7.1.2 OPCIONES DE CONTROL DE RUIDO PARA OPERACIONES *RUN-UP*.

Varias empresas o compañías de ingeniería acústica proponen diversas alternativas de control de ruido. Como ejemplo se presentan a continuación algunas tecnologías [31]:

- Dirección operacional de pruebas *run-up*: Este método consiste en la utilización de medidas de control de ruido para mitigar los impactos de las operaciones *run-up*. Estas medidas incluyen restricciones operacionales de las operaciones *run-up* como también de la ubicación y orientación de las localizaciones *run-up* para minimizar los impactos en la comunidad.
- Barrera lateral para operaciones *run-up*: Este método, generalmente, consiste de una barrera ubicada a un costado de la localización de la prueba de motores. Por lo general, la barrera no está ubicada para encerrar totalmente a la aeronave, por lo que su efectividad es reducida. Este tipo de sistema es más efectivo cuando se requiere una cantidad baja de reducción de ruido y la comunidad afectada está ubicada a un costado del aeropuerto.
- Encierros para operaciones *run-up*: Este método consiste de dos, tres o cuatro barreras laterales alrededor de la aeronave. Estas barreras (figura 7.1.2) son ubicadas encerrando a la aeronave, y generalmente incluyen paneles absorbentes de ruido.



Figura 7.1.2. Encierros con barreras acústicas en operaciones *run-up*. Fuente: [10]

- Sistema de reducción de ruido, *Trim Pad Suppressor*: Este sistema llamado comúnmente como *Trim Pad Noise Suppressor*, consiste de una estructura fija o móvil (figura 7.1.2.1) que atenúa el ruido de los gases de escape del motor. Los gases de escape pasan directamente a través de un diseño especial de silenciador de escape.



Figura 7.1.2.1. Silenciador *Trim Pad Suppressor* en operaciones *run-up*. Fuente: [10]

- Encierros *Hush House*: Estos sistemas, a diferencia de los anteriores, consisten en encierros totalmente completos a través de una estructura tipo hangar que consta de puertas para la entrada de la aeronave. Estos sistemas son generalmente de uso militar y no han sido demostrado para prácticas comerciales.
- Control de ruido activo: El control de ruido activo reduce el ruido a través de tecnología de cancelación sonora. Investigaciones en modelos a escala, han demostrado que esta tecnología puede proporcionar reducciones de los niveles de ruido de las operaciones *run-up* en las proximidades de los aeropuertos. Sin embargo, esta tecnología, actualmente no ha sido aplicada en ningún aeropuerto, pero representa la tecnología del futuro.

8. NIVELES DE RUIDO DE AERONAVES SEGÚN ISO 3891.

La norma ISO 3891 describe dos métodos alternativos para la medida del ruido generado por el sobrevuelo de aeronaves: el primero, utiliza la escala de ponderación A (dBA) para la obtención del nivel de presión sonora L_A ; mientras que el otro método define el nivel de ruido percibido L_{PN} , usado para determinar molestias y determinando a partir de medidas en la escala de ponderación D (L_D), donde se cumple que [18]:

$$L_{PN} \approx L_D + 7 \text{ dB} \quad \text{Ec. 10}$$

en algunos casos, y para ruidos de banda ancha sin tonalidades muy pronunciadas:

$$L_{PN} \approx L_A + 13 \text{ (ó 12) dB} \quad \text{Ec. 11}$$

El ruido producido por el sobrevuelo de una aeronave en la proximidad de un aeropuerto, se puede definir mediante el nivel de presión sonora máximo y la energía media; y un nivel efectivo de exposición sonora L_{AE} , o un nivel efectivo de ruido percibido L_{EPN} , que se calculan a partir de los niveles L_A y L_{PN} respectivamente, usando un tiempo de medida de 1 [s] y de 10 [s] en cada caso. [18]

8.1 NIVEL DE RUIDO PERCIBIDO L_{PN} .

El método de cálculo del L_{PN} admite dos variantes, según si se dispone del espectro en bandas de tercio de octava o de octava. Entonces si tenemos los niveles de presión sonora NPS en dB correspondientes a las bandas de octava entre 63 Hz y 8000 Hz, debemos transformarlos en valores de *ruidosidad*¹(N_i) por medio de los contornos de igual ruidosidad percibida de la siguiente figura [16]:

¹ La ruidosidad o ruidosidad percibida N , se expresa en una unidad arbitraria denominada *noy*. Por ejemplo, la ruidosidad es 1 *noy* para un ruido de 40 dB en la banda de 910 Hz – 1090 Hz. [16]

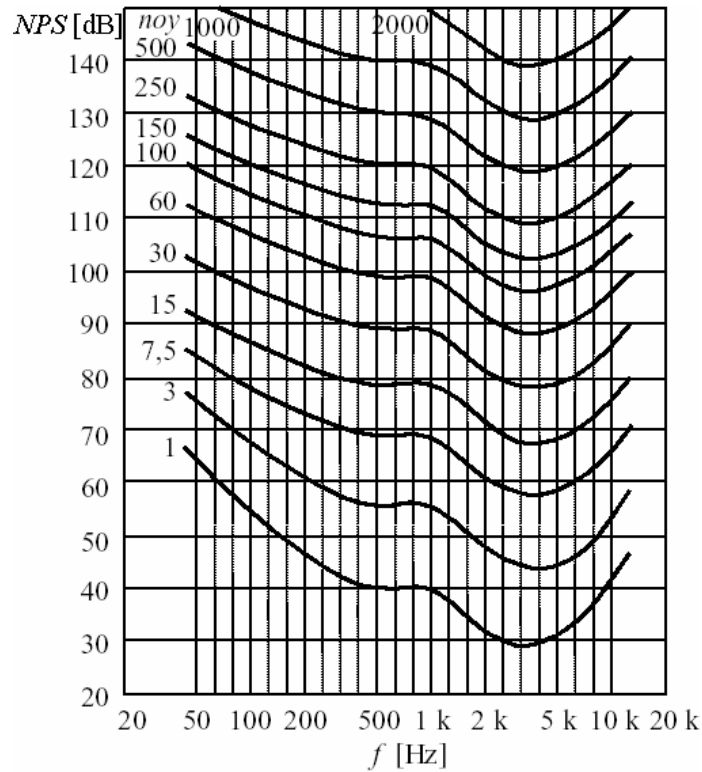


Figura 8.1. Contornos de igual ruidosidad para ruidos de origen aeronáutico con valores selectos de ruidosidad. Fuente: [16]

Por ejemplo, un nivel de presión sonora de 70 dB en la frecuencia de 500 Hz tiene una ruidosidad alrededor de los 8 noy.

Una vez repetido el procedimiento anterior para todas las bandas, se obtiene la ruidosidad total según la ecuación:

$$N = N_{m\acute{a}x} + 0,3 \cdot \left(\sum_i N_i - N_{m\acute{a}x} \right) \quad [8][16] \quad \text{Ec. 11.1}$$

Para el caso de bandas de tercio de octava está normalizado en la norma ISO 3891 [8], y se reemplaza el factor 0,3 por un factor 0,15. Finalmente, el nivel de ruido percibido se calcula por medio de la siguiente ecuación [8][16]:

$$L_{PN} = 40 + \frac{10 \log N}{\log 2} \quad \text{Ec.11.2}$$

8.2 NIVEL DE RUIDO PERCIBIDO EFECTIVO L_{EPN} .

Dado que un sobrevuelo constituye un evento completo en sí mismo, en el cual, el espectro varía en forma permanente, es interesante determinar una única valoración numérica que lo describa en forma completa. El indicador que cumple con esto es el Nivel de Ruido Percibido Efectivo L_{EPN} , definido matemáticamente como [16]:

$$L_{EPN} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} 10^{\frac{L_{PN}}{10}} dt \quad \text{Ec. 11.3}$$

donde $T_0 = 10$ [s] se denomina *tiempo de normalización*¹. A efectos de su cálculo numérico, la integral puede limitarse al intervalo $[t_1, t_2]$ fuera del cual $L_{PN} < L_{PN \text{ máx}} - 10$ dB, quedando:

$$L_{EPN} \cong 10 \log \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{PN}}{10}} dt \quad \text{Ec. 11.4}$$

En la práctica, esta integral se puede reemplazar por una sumatoria. Según [2], [3] y [8], la integral puede realizarse sumando fragmentos de duración $\Delta t = 0,5$ [s]. Luego se tiene:

$$L_{EPN} \cong 10 \log \frac{\Delta t}{T_0} \sum_{K=1}^{\frac{(t_2-t_1)}{\Delta t}} 10^{\frac{L_{PN,k}}{10}} \quad \text{Ec. 11.5}$$

El método anterior es muy tedioso, porque como se vio, requiere el cálculo de L_{PN} cada 0,5 [s]. Según [16], puede obtenerse una versión aproximada utilizando la ponderación D. Para esto se debe aplicar primero la siguiente ecuación:

$$L_D = 10 \log \left(\sum_i 10^{\frac{L_i + \Delta L_{Di}}{10}} \right) \quad \text{Ec. 11.6}$$

¹ El *tiempo de normalización* equivale a referir el valor de la integral, cualquiera sea la duración, a 10 [s]. [16]

donde ΔL_{Di} corresponde al incremento (positivo o negativo según sea el caso) correspondiente a la banda i -ésima dado por la tabla 8.2.

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL_D [dB]	-10,9	-5,5	-1,6	-0,3	0,0	7,9	11,1	5,5

Tabla 8.2. Corrección en dB según la curva de compensación D en las bandas de octava de 63 Hz a 8000 Hz para un ruido típico de aeronave. Fuente: [16]

El método simplificado consiste, entonces, en aproximar L_{EPN} mediante la ecuación:

$$L_{EPN} \cong L_{D,m\acute{a}x} + 7 \text{ dB} + 10 \log \frac{t_2 - t_1}{T_0} \quad \text{Ec. 11.7}$$

En el caso donde el ruido de sobrevuelo contenga irregularidades espectrales importantes, este método no puede aplicarse. Se utiliza la Ec. 11.5, reemplazando los valores $L_{PN k}$ por $L_{TPN k}$, donde la T se refiere a una corrección tonal.

En las proximidades de un aeropuerto, también debe tenerse en cuenta, la frecuencia de utilización del mismo, el número de sobrevuelos, de ahí que se definen unos niveles equivalentes L_{Aeq} y L_{PNeq} , que tienen presente las diferentes operaciones que tienen lugar, así como el tiempo de exposición y duración del suceso. [18]

9. ÍNDICES DE EXPOSICIÓN.

Alrededor de los aeropuertos, la respuesta de los habitantes de la zona a las molestias ocasionadas por el ruido del tráfico aéreo, dependerá no sólo del número de sobrevuelos y de su tiempo de duración, sino también, del tipo de aeronave (no todas generan el mismo ruido), de la cantidad de operaciones n , ya sean diurnas n_d , o nocturnas n_n , que tengan lugar en un determinado periodo de tiempo. [18]

Los índices de tipo subjetivo, intentan cuantificar el nivel de ruido producido relacionándolo con la respuesta de la comunidad, permitiendo establecer criterios de limitación a la

edificación en las cercanías de los aeropuertos y zonas de tránsito aéreo.

9.1 COMPOSITE NOISE RATING (CNR).

La expresión, inicialmente desarrollada en los años 50 fue [18]:

$$\text{CNR} = \bar{L}_{PN\text{máx}} + 10 \log n - 12 \quad \text{Ec. 12}$$

siendo: $\bar{L}_{PN\text{máx}}$, el valor promedio de los niveles máximos percibidos durante las n operaciones.

La ecuación definitiva, adopta la forma que a continuación se indica:

$$\text{CNR} = \bar{L}_{PN\text{máx}} + 10 \log (n_d + 10 \cdot n_n) - 12 \quad \text{Ec.13}$$

en ella se penalizan las operaciones o vuelos nocturnos n_n .

Este índice CNR, permitió estimar que para valores superiores a 115, obtenidos durante el aterrizaje y despegue de aeronaves, se producirían quejas de la vecindad del aeropuerto y acciones comunitarias importantes. Para valores inferiores a 100 no se esperan reclamos. [18]

Nota: Actualmente, este índice, de origen norteamericano, no está en uso. [14]

9.2 NOISE EXPOSURE FORECAST (NEF).

El índice NEF, define el nivel de exposición al ruido producido por una aeronave tipo i , a lo largo de la ruta j , para ello, agrupa las aeronaves con características acústicas semejantes en categorías, se tendrá en un punto [18]:

$$\text{NEF} (i j) = L_{EPN} (i j) + 10 \log [n_d (i j) + 16,67 n_n (i j)] - 88 \quad \text{Ec. 14}$$

el índice total será:

$$NEF = 10 \log \sum_i \sum_j \text{anti log} \frac{NEF(i,j)}{10} \quad \text{Ec. 15}$$

Actualmente, este índice, de origen norteamericano, está en uso y es recomendado para la planificación urbana. También es utilizado en Canadá. [14]

9.3 NOISE AND NUMBER INDEX (NNI).

$$NNI = L_{PN \text{ máx } d} + 15 \log n_d - 80 \quad \text{Ec. 16}$$

con: $L_{PN \text{ máx } d}$, el valor medio de los niveles $L_{PN \text{ máx}}$ medidos durante el periodo diurno de 06:00 a 18:00 horas y n_d : número de vuelos en el mismo periodo.

Este índice de origen británico, actualmente está en uso como índice oficial. Como observación se puede decir que no está definido para vuelos nocturnos. Se recomienda para planificación urbana. También es utilizado en Suiza. [14][18]

9.4 ÍNDICE ISOFÓNICO (N).

$$N = L_{PN \text{ máx}} + 10 \log N_d - 30 \quad \text{Ec. 17}$$

con: N_d , número de vuelos en periodo diurno (06:00 – 22:00 horas)

$$N = L_{PN \text{ máx}} + 6 \log (3n_1 + n_2) - 1 \quad \text{Ec.18}$$

con: n_1 = vuelos en periodo de 22:00 – 02:00 horas.

n_2 = vuelos en periodo de 02:00 – 06:00 horas.

Este índice N está actualmente en uso, es de origen francés y es recomendado para planificación urbana. [14][18]

9.5 DOSIS TOTAL DE RUIDO (**B**). [14]

$$B = 20 \log \sum n_i 10^{L_i/15} - 157 \quad \text{Ec. 19}$$

con: i = número de operaciones.

n_i = factor dependiente de la distribución de movimientos de aeronaves; para el periodo de 08:00 – 18:00 horas, ($= 1$); para el periodo de 23:00 – 06:00 horas ($= 110$).

L_i = nivel máximo del sobrevuelo en dBA.

Este índice es de origen holandés y está actualmente en uso.

9.6 ÍNDICE STOVINDEZ (**Q**). [18]

$$Q = 13,3 \log \sum g_i (T_i / T) \cdot 10^{L_i/13,3} \quad \text{Ec. 20}$$

con: i = número de operaciones.

$g_i = 1$ para vuelos diurnos; $g_i = 5$ para vuelos nocturnos.

T_i = duración del sobrevuelo durante el cual el nivel sonoro está comprendido entre L_i y $L_i - 10$.

T = duración del periodo diurno 06:00 – 22:00 horas; nocturno 22:00 – 06:00 horas.

L_i = nivel sonoro máximo en dBA de cada operación.

10. ÍNDICES DE VALORACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL.

El ruido producido por el tráfico aéreo no es continuo, sino que presenta grandes fluctuaciones, de modo que, es muy intenso en determinados periodos del día o de la noche, y de relativa calma en otros, entonces no es suficientemente significativa la medida absoluta del nivel de presión sonora a partir de los parámetros L_A o L_{PN} , por lo que se introducen magnitudes de tipo estadístico, como es el caso del Leq , y el nivel sonoro percentil L_p . [18]

10.1 NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE (L_{eq}).

En el D.S. N° 146/97 [4] se define al L_{eq} como: “Es aquel nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total (o dosis) que el ruido medido”.

La expresión matemática del L_{eq} es [22]:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{t_2}^{t_1} p_A^2(t) dt \right] \frac{1}{p_0^2} \right\} \quad \text{Ec.21}$$

donde: $T = t_1 - t_2 =$ intervalo de tiempo de medición.

$P_A^2 =$ cuadrado de la presión instantánea con ponderación A.

$P_0^2 = (0,00002)^2$ pascales = cuadrado de la presión sonora de referencia normalizada.

Este parámetro presenta un especial interés, en el ruido producido por el sobrevuelo de aeronaves, por el hecho de valorar la importancia de impulsos elevados en nivel pero de corta duración que son sumamente molestos.

En la norma ISO 3891 [8] se define el nivel de ruido percibido equivalente como:

$$L_{PNeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_{PN}}{10}} dt \quad \text{Ec. 21.1}$$

10.2 NIVEL SONORO PERCENTIL (L_p).

Un método ampliamente usado para medir las variaciones del nivel de presión sonora en el tiempo es realizando un análisis de distribución de niveles. Este se cuantifica a través de la variable llamada percentil L_p , que indica el nivel en dBA que es sobrepasado durante un $p\%$ del tiempo de medición. Así por ejemplo se tiene el L_{10} , L_{50} y L_{90} , estos son los niveles excedidos el 10%, 50% y el 90% del tiempo de medición, y son usados para las típicas

medidas promedio de los niveles de ruido máximo, la mediana, y ruido de fondo respectivamente. [22]

10.3 NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA (*SEL*).

El *Leq*, aplicado al ruido de aeronaves es muy fácil de medir, con un sencillo sonómetro integrador, al igual que el Nivel de Exposición Sonora *SEL*, que se define como el nivel sonoro que tiene la misma energía en 1 segundo que el suceso real de ruido. El parámetro *SEL* es útil para clasificar y comparar sucesos de ruido de relativa corta duración, como es el caso de los vuelos aéreos. La relación entre las magnitudes *SEL* y *Leq* viene dada por la expresión [18][22]:

$$SEL = Leq + 10 \log (T / T_0) \quad \text{Ec. 22}$$

donde: T, es el tiempo de duración del suceso sonoro. $T_0 = 1$ [s] (tiempo de referencia).

10.4 NIVEL SONORO CORREGIDO DÍA-NOCHE (*L_{DN}*).

Este nivel es usado para corregir las diferencias existentes entre un mismo nivel de ruido medido de día y/o de noche. Diversos estudios llegaron a la conclusión que se debería agregar 10 dB a los niveles de presión sonora de ruidos nocturnos. En general, el *L_{DN}* considera una corrección de 10 dB para los niveles sonoros en el horario nocturno al periodo de horas entre las 22:00 y 07:00 horas. Luego si se mide *Leq* para los periodos día (07:00 – 22:00 horas) y noche (22:00 – 07:00 horas) entonces el *L_{DN}* está dado en la siguiente expresión matemática [22]:

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{\frac{L_D}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_N+10}{10}} \right) \quad \text{Ec. 23}$$

donde: $L_D = Leq$ medido en periodo diurno (07:00 – 22:00 horas).

$L_N = Leq$ medido en periodo nocturno (22:00 – 07:00 horas).

11. PARÁMETROS DE VALORACIÓN DEL RUIDO DE TRÁFICO AÉREO.

A partir del Leq se han desarrollado una serie de parámetros para valorar el ruido del tráfico aéreo, diferenciados en aspectos concernientes al periodo de la medición: día, noche, tiempo de medida. Entre estos índices se destacan [18]:

- Nivel de presión sonora continuo equivalente horario ($Leqh$): Corresponde a un Leq con tiempo de promediación $T = 1$ hora.
- Nivel de presión sonora continuo equivalente diario ($Leqd$): Obtenido para 24 horas y calculado a partir del valor medio de los Leq de cada hora.
- Nivel sonoro medio día – noche ($Leqdn$): Es un Leq de 24 horas que penaliza el nivel nocturno con 10 dB, según la fórmula:

$$Leqdn = \overline{SEL} + 10 \log (n_d + 10n_n) - 39,4 \quad \text{Ec. 24}$$

siendo: \overline{SEL} , el valor medio del SEL a lo largo del día; n_d y n_n , el número de sucesos diurnos y nocturnos respectivamente.

- Nivel equivalente de ruido comunitario ($CNEL$): Representa un Leq durante las 24 horas, incluyendo correcciones para sobrevuelos de tarde (19:00 – 22:00 horas) y de noche (22:00 – 07:00 horas), entonces se adapta la ecuación:

$$CNEL = 10 \log [24^{-1} (10^{0,1 \cdot Leqhd} + 3 \cdot 10^{0,1 \cdot Leqht} + 10 \cdot 10^{0,1 \cdot Leqhn})] \quad \text{Ec. 25}$$

donde: $Leqhd$, $Leqht$, $Leqhn$, son los niveles equivalentes horarios durante el día, la tarde y la noche, respectivamente.

- Nivel de contaminación sonora (L_{NP}): Tiene presente la molestia ocasionada por las variaciones del nivel medido alrededor del valor medio, viene dado por:

$$L_{NP} = Leq + 2,56 \sigma \quad \text{Ec. 26}$$

con: σ , desviación estándar del valor principal (es difícil de medir y predecir). [18]

Según [22], si el ruido tiene una distribución *gaussiana*, entonces la ecuación anterior se puede escribir como:

$$L_{NP} = Leq + 4(L_{10} - L_{90}) \quad \text{Ec. 27}$$

donde: L_{10} = percentil 10.

L_{90} = percentil 90.

12. HUELLAS SÓNICAS DE AERONAVES.

Si se mide el nivel de exposición sonora *SEL* en diversos puntos de la zona de sobrevuelo de una aeronave, y luego, se unen todos los puntos donde se alcance el mismo valor del parámetro *SEL*, se tendrá definida la huella sonora para un determinado valor. En la figura 12 se muestran las huellas sónicas para diferentes tipos de aeronaves, un Boeing 747-400, un Airbus A-320, un DC-9 y un Jet regional, correspondientes a *SEL* de 85 dBA.

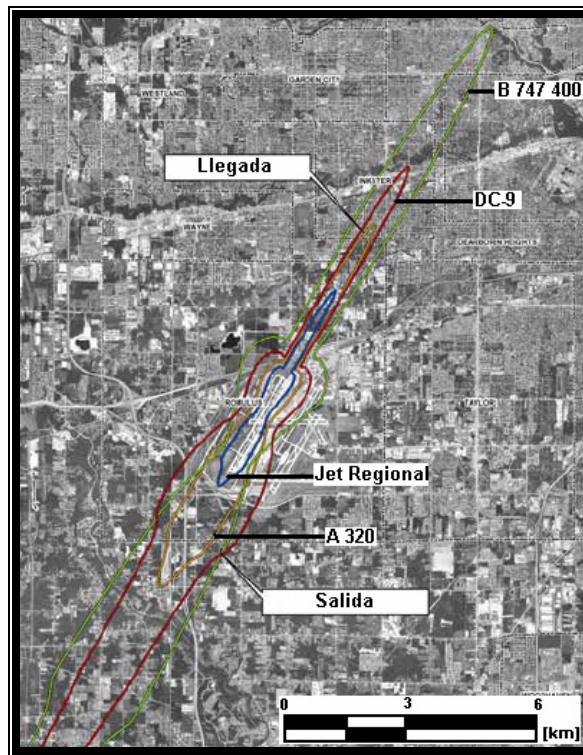


Figura 12. Huellas sónicas para *SEL* de 85 dBA. Fuente: [34]

CAPÍTULO II: EL RUIDO COMO FACTOR AMBIENTAL EN CHILE

13. EL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

Hoy en día, en Chile, se permite introducir la consideración ambiental en los proyectos de inversión gracias a la Ley N° 19.300 [6]. Se contempla que ciertos proyectos o actividades que sean susceptibles de provocar impacto ambiental tendrán que ser sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Dependiendo de las características del proyecto o actividad se deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA¹) o una Declaración de Impacto Ambiental (DIA²). La implementación y administración de este SEIA es responsabilidad de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). La coordinación del procedimiento de calificación de los EIA y revisión de las DIA radica en CONAMA y en las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (COREMAS), contando con la participación activa de los órganos de la Administración del Estado con competencia ambiental. [22]

14. EL RUIDO EN EL SEIA.

Según la Ley N° 19.300, en su artículo segundo, se entenderá por contaminante “todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, **ruido**, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o periodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental”. Así, se expone con claridad la relación que se le asigna al medio ambiente y a los agentes contaminantes, entre los cuales se encuentra el **ruido**. [22]

¹ Documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos. [6]

² Documento descriptivo de una actividad o proyecto que se pretende realizar, o de sus modificaciones que se le introducirán, otorgado bajo juramento por el respectivo titular, cuyo contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes. [6]

En el marco de una Declaración de Impacto Ambiental de una actividad o proyecto, y de acuerdo al artículo 15 letra c) del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental [7], “las DIA deben contener, a lo menos, la indicación de los antecedentes necesarios para determinar si el impacto que generará o presentará el proyecto o actividad se ajusta a las Normas ambientales vigentes”. En el caso de un EIA de un proyecto, deberán incluirse los contenidos mínimos detallados según lo señalado en el artículo 12 de dicho reglamento. [22]

14.1 REQUISITOS ACÚSTICOS PARA LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN PROYECTO EN EL MARCO DE UNA DIA.

En las etapas de construcción y operación del proyecto, el titular debe incorporar al menos la siguiente información [21]:

1. Identificación de las fuentes y actividades generadoras de ruido. (tipo de fuentes, localización de ellas, período de funcionamiento, tipo de ruido que generarán, etc.)
2. Identificación del área de influencia (lugares sensibles a las actividades ruidosas generadas por el proyecto). Ej.: Sectores habitacionales, recintos hospitalarios, escuelas, colegios, etc.
3. Horarios en que se producen las actividades generadoras de ruido.
4. Modo de operación de las fuentes de ruido: Se debe explicar si éstas trabajan de manera simultánea, en forma alternada u otra.
5. Un plano que muestre el emplazamiento del proyecto, la ubicación de las fuentes de ruido que contempla el proyecto y los lugares sensibles a éste.
6. Se debe indicar, en lo posible, las distancias existentes desde cada una de las fuentes a los lugares identificados como sensibles.
7. Uso de suelo homologado a los tipos de zonas establecidos en el D.S. N° 146/97¹ del MINSEGPRES tanto para el emplazamiento del proyecto como para los lugares sensibles a éste.

¹ Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas. [4]

14.2 REQUISITOS FUNDAMENTALES DE MEDICIONES DE RUIDO EN UN EIA.

Cuando se trate de un EIA, el proyecto deberá presentar como requisito fundamental mediciones de niveles de ruido (Línea de Base¹), donde debe incorporarse al menos la siguiente información [22]:

1. Mediciones realizadas en aquellas áreas identificadas como sensibles (aquellas que pueden ser afectadas en cuanto a producir cambios en los niveles de ruido existentes antes del proyecto o en las cuales se puede predecir que se supera la normativa vigente).
2. Las mediciones deben ser realizadas en las condiciones que establecen las normas que se toman en cuenta, tanto para evaluar el impacto, como para predecir su comportamiento o no, una vez que el proyecto comience su construcción y luego su operación.
3. Las mediciones deben incorporar un criterio espacial y un criterio temporal, es decir, se deben realizar las mediciones en lugares posibles de ser afectados y en donde se pudiera esperar problemas con la comunidad a futuro. Además las mediciones deben realizarse, al menos, considerando “Horas Punta”, Horarios de Mañana, Tarde y Noche (ciclo diario de emisión de ruido del proyecto), definiendo lo que para el proyecto significan horas punta y ciclo diario, momento en el cual existe menor ruido de fondo, etc.
4. En cuanto a la duración de las mediciones de la línea de base de ruido, éstas deben realizarse durante un tiempo tal que la lectura se estabilice (en el caso de utilizar como parámetro de medición de Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente, Leq); esto debe señalarse en el proyecto, indicando en cuanto tiempo la lectura se estabiliza, o bien, indicando los motivos de por qué los registros de niveles de ruido se toman con una duración “ T ” de tiempo (criterios) y las razones del descriptor a utilizar (Leq , $NPS_{máx}$, $NPS_{mín}$, L_p , etc.).
5. Se deben indicar los puntos de medición en un croquis o plano del lugar. Estos puntos deben ser escogidos de tal manera que sean de fácil acceso, lo cual permite posteriormente poder reproducir las mediciones una vez que el proyecto entre en operación, es decir, en etapas de Monitoreo o Plan de Seguimiento.

¹ Descripción detallada del área de influencia de un proyecto o actividad, en forma previa a su ejecución [6]. El establecimiento de una línea de base permitirá definir los límites máximos aceptables que existirán si se trata de áreas rurales, además de poder determinar el grado de impacto acústico producido en caso de existir excesos. [32]

6. Se deben indicar los instrumentos con que se realizan las mediciones, puesto que la normativa vigente (D.S. N° 146/97 MINSEGPRES), establece requerimientos de precisión, es decir, los instrumentos con que se mide deben cumplir al menos con las características de precisión establecidas en las Normas IEC 651¹ e IEC 804² de la Comisión Electrotécnica Internacional.

14.3 PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO. [22]

1. Se deben señalar los niveles de ruido esperados en lugares sensibles al proyecto (niveles de inmisión de ruido), señalar las distancias a las cuales los niveles de ruido son calculados, incluir un plano de identificación de los puntos donde se calculan los niveles y los puntos de medición (si es que se han hecho mediciones).
2. La predicción de niveles de ruido debe hacerse a partir de un modelo de cálculo o bien a partir de mediciones reales. En el primer caso debe indicar las referencias utilizadas e indicar las restricciones que considera dicho modelo. En el segundo caso, debe indicar las condiciones en que se midió (croquis de medición, procedimiento de medición, criterios de selección de puntos de medición, instrumentos utilizados, calibración, etc.).
3. La predicción de niveles de ruido debe hacerse en las condiciones más desfavorables para así poder asegurar el cumplimiento de las normas en todo momento, sobre todo en la actualidad, puesto que el D.S. N° 146/97 del MINSEGPRES establece, entre otras cosas, que la medición debe hacerse en el momento y condición de mayor molestia.
4. Debe indicar el parámetro utilizado en la predicción y evaluación de niveles de ruido (*Leq*, *NPS*, *NPS_{máx}* u otro).
5. Toda la información que provenga de supuestos o de asumir situaciones (por ejemplo asumir que el nivel de ruido de fondo del sector es alto sin haberlo medido, asumir que una ventana atenúa “X” dBA sin haberlo calculado, etc.), debe ser adecuadamente justificada. La utilización de un criterio específico debe ser fundado.

¹ La Norma IEC 651 tiene como objetivo el asegurar en la práctica una exactitud y estabilidad especificada de un sonómetro particular, y reducir a un mínimo práctico cualquier diferencia en las mediciones obtenidas con dispositivos de fabricaciones y modelos diversos que satisfagan los requisitos de esta Norma. [5]

² La Norma IEC 804 complementa a IEC 651 ampliando el alcance, al describir instrumentos que permiten medir frecuencias ponderadas y tiempos promedio de Niveles de Presión Sonora. [5]

6. Se debe tener presente que para justificar cumplimiento de la norma, aunque el área de influencia del proyecto pueda presentar altos niveles de ruido, los que son propios de la actividad urbana del sector, no puede compararse esta situación con la normativa vigente para las actividades industriales, comerciales, recreacionales, artísticas u otras (D.S. N° 146/97), es decir, la afirmación que muchas veces se hace: “Los niveles de ruido actuales del lugar superan lo establecido por el decreto vigente”, no es aplicable por cuanto así sea, el proyecto debe cumplir por sí solo la normativa.

Para el caso de evaluación de impactos, la afirmación anterior es válida cuando se compara con la normativa utilizada para ello (NCh 1619/79¹, Normas de referencia u otras). Lo anterior permite determinar futuros problemas con la comunidad posiblemente afectada.

14.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DEL IMPACTO ACÚSTICO.

En el caso de que el titular del proyecto incluya medidas de mitigación o técnicas de control de niveles de ruido para lograr el cumplimiento de la normativa vigente, entonces se deberán dimensionar tales medidas, entregando todos los antecedentes técnicos de dichas medidas o técnicas de control de ruido, para verificar si ellas dan garantías de cumplimiento de las normas vigentes. Además, deberá incorporar los diseños, planos, cálculos, o el detalle de las acciones o medidas que se utilizarán para minimizar los impactos. [22]

14.5 PLAN INFORMATIVO CON LA COMUNIDAD.

En los proyectos o actividades que se desarrollan en las etapas de construcción, a veces, por la característica de la obra de construcción, no se tiene la seguridad que se cumplirá con la normativa vigente, entonces se debe considerar como medida de mitigación, un plan informativo con la comunidad posiblemente afectada.

En un plan informativo con la comunidad se debe notificar a los vecinos posiblemente más afectados la frecuencia de las faenas ruidosas que inevitablemente deben llevarse a cabo, el

¹ Norma Chilena Oficial. NCh 1619/79. Acústica – Evaluación del Ruido en Relación con la Reacción de la Comunidad. [1]

tiempo aproximado de duración de la faena, y cualquier otra información que pudiese servir como una medida que evite la posible reacción de la comunidad afectada.

14.6 PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.

Esta es una etapa que a veces suele omitirse, se trata con menor importancia o simplemente pasa desapercibida, es la etapa que está a cargo de comprobar que se estén aplicando las medidas que fueron prometidas y que éstas cumplan con la efectividad con las cuales fueron propuestas. Un plan de vigilancia ambiental en Ruido debe consistir en un sistema de verificación, ya sea por estaciones fijas de monitoreo de ruido ambiental que aseguren la calidad y actualización de los datos, o bien un sistema de verificación por inspección. Estos sistemas deben estar de acuerdo con las zonas estudiadas y las metodologías utilizadas en el EIA o la DIA. [22]

14.7 NORMAS ACÚSTICAS DE REFERENCIA EN EL SEIA.

Existen generalmente dos criterios para la fijación de límites para el ruido. Uno reside en el establecimiento de límites absolutos para las zonas y horarios descritos, y otro en implantar límites relativos entre el nivel medido y el ruido de fondo. [22]

Estos criterios presentan sus ventajas y desventajas, y además son utilizados en la normativa vigente¹ para el ruido en Chile. A modo de ejemplo, las normas de inmisión en Suiza, establecen límites en dBA según el tipo de zona y el periodo del día (día o noche). En este caso se señala el método para la medición y las correcciones para los valores medidos [22]. En el Reglamento del SEIA artículo siete, se estipula acerca de la normativa de referencia a falta de normativa asociada para un determinado impacto. [7]

Los valores medidos para cada caso son similares a los utilizados en el D.S. N° 146/97, la diferencia radica en la forma en que se realizan las mediciones y en los factores de corrección utilizados. Específicamente, el D.S. N° 146/97 establece las regulaciones para las fuentes fijas

¹ D.S. N° 146/97 [4] – NCh 1619/79 [1].

como industrias, lugares de entretención (discotecas, restaurantes, parques de entretenciones, etc.), recreación y similares. [22]

15. OBJETIVO Y APLICACIÓN DEL D.S. N° 146/97.

Esta es una norma de emisión que protege a la comunidad que se ve afectada por problemas de contaminación acústica, desde el punto de vista de la salud pública, y que son originados por las molestias generadas por el ruido producido por las fuentes fijas¹. [5]

Específicamente, protege a aquellas personas que pudieran estar afectadas por altos niveles de ruido generado por fuentes fijas, o que pudieran sufrir molestia, en lugares habitables tales como sus viviendas, su lugar de trabajo (por una fuente fija distinta a su propia fuente laboral), de descanso o esparcimiento, entre otras.

Toda actividad, proceso, operación o dispositivo, que se realice dentro de una propiedad, sea pública o privada, y que genere o pueda generar ruidos molestos hacia la comunidad está sujeta a cumplir esta norma.

Existen distintos escenarios en los cuales esta norma entra en operación. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes [5]:

1. **Denuncias por ruidos molestos:** Estas denuncias pueden ser formuladas por las personas afectadas, a los Servicios de Salud respectivos o las distintas Municipalidades, quienes evaluarán si corresponde aplicar este reglamento o no.
2. **Peritajes de Certificación:** Son necesarios para que las fuentes de ruido afectas a la norma, evalúen el comportamiento de la misma.
3. **Proyectos que se acogen al SEIA:** Se utiliza como norma para la evaluación y el control del impacto acústico que puede generar un proyecto determinado que se acoja a la definición de fuente fija emisora de ruido.

¹ **Fuente Fija Emisora de Ruido:** Toda fuente emisora de ruido diseñada para operar en un lugar fijo o determinado. [4]

4. Proyectos de reducción de emisiones de niveles de ruido: Se utiliza cuando una fuente fija de ruido realiza un proyecto de reducción de emisiones de ruido, con el cual pretende asegurarse que sus emisiones no generarán molestias a la comunidad vecina.

16. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA CHILENA NCh 1619/79.

Esta norma establece una pauta para evaluar la aceptabilidad del ruido en las comunidades. Especifica un método para la medición del ruido, la aplicación de correcciones a los valores medidos y una comparación de los niveles corregidos (o también denominados nivel de calificación [N_c]) con un patrón de ruido (el cual se obtiene a partir del ruido de fondo más algunas correcciones) que considera los distintos factores ambientales.

Para evaluar el ruido con respecto a la reacción esperada de la comunidad, el nivel corregido (N_c) debe ser comparado con el patrón de ruido. La norma señala que si el nivel corregido excede al patrón, el ruido provocará reacción de la comunidad. [32]

CANTIDAD EN dBA EN QUE EL NIVEL DE EVALUACIÓN SONORA N_c EXCEDE AL PATRÓN DE RUIDO	RESPUESTA DE LA COMUNIDAD	
	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
0	Ninguna	No se observó reacción.
5	Poca	Quejas esporádicas.
10	Mediana	Quejas frecuentes.
15	Fuerte	Amenazas de acción de la comunidad.
20	Muy fuerte	Acción enérgica de la comunidad.

Tabla 16. Estimación de la reacción de la comunidad ante el ruido. Fuente: [1]

En definitiva, el método indicado para la evaluación del ruido en relación con la reacción de la comunidad, establece las bases sobre las cuales la autoridad competente puede fijar los niveles de ruido límites para diferentes situaciones. [32]

17. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO 814.41 SUIZO.

Este Reglamento [13] puede ser utilizado según el Artículo siete del Reglamento del SEIA [7], y tiene por objetivo proteger contra el ruido perjudicial o molesto. Por nombrar algunos, este reglamento tiene los siguientes valores límites según campos de aplicación:

- Valores límites de exposición al ruido de tráfico vial.
- Valores límites de exposición al ruido de los ferrocarriles.
- **Valores límites de exposición al ruido de los aeropuertos regionales y campos de aviación.**
- Valores límites de exposición al ruido de los aeródromos militares.
- Valores límites de exposición al ruido de la industria y de las artes y oficios.

Además de estos límites, entre otros aspectos que se reglamentan están:

- La delimitación y el equipamiento de zonas a construir en los sectores expuestos al ruido.
- El aislamiento exterior e interior de los edificios nuevos y existentes que disponen de locales sensibles al ruido.

CAPÍTULO III: REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA EL RUIDO DE AERONAVES

18. INTRODUCCIÓN.

La problemática a la exposición al ruido de aeronaves empezó hace ya muchos años (más de 40 años en los Estados Unidos). Con la introducción de los Jets de servicio comercial, las comunidades empezaron a ser sometidas a altas dosis de ruido y los problemas por ruidos aumentaron [36]. Al tratar el ruido de aeronaves, la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) ha elaborado políticas sobre la forma de reducir el ruido de las aeronaves en su fuente, restricciones a las operaciones, procedimientos para atenuación de ruido, planificación para el uso de suelos y cobro de derechos. [26]

Las directivas que limitan el ruido de aeronaves de la Unión Europea (U.E.), al igual que las legislaciones del ruido de aeronaves del resto de los países, utilizan las normas de referencia especificadas por la OACI en el anexo de “Protección del Medio Ambiente” del convenio de Chicago, del que forman parte la mayoría de los países del mundo. [17]

Las regulaciones F.A.R. (Federal Aviation Regulations) de la F.A.A.¹ de los Estados Unidos, establecen el estándar de ruido que las aeronaves deben cumplir para obtener el certificado de tipo y aptitud para volar, limitaciones a las operaciones aéreas civiles, identificación de las incompatibilidades con el uso de suelo y nivel de ruido, junto con establecer programas de eliminación de conflictos. El gobierno de los Estados Unidos estableció el “Noise Abatement Policy Act” de 1976 para establecer las responsabilidades del impacto del ruido entre la F.A.A., aerolíneas, operadores de aeropuertos, y las comunidades afectadas. A lo largo de los años se han hecho modificaciones adicionales a la responsabilidad de cada identidad sobre el impacto del ruido de aviones, incluyendo el “Aircraft Safety and Noise Abatement Act” de 1979 y el “Airport Noise and Capacity Act” de 1990. Estas leyes federales forman la base para el programa de control de ruido de aviones y uso compatible de suelos establecido en la F.A.R. parte 150. [36]

¹ U.S. Federal Aviation Administration.

19. POLÍTICAS Y REGULACIONES DE RUIDO DE LA U.S. F.A.A.

Las regulaciones F.A.R. se presentan en el Código 14 CFR (Code of Federal Regulations) para Estados Unidos. También, la F.A.A., publica su política, guías y material de información a través de circulares, llamadas Advisory Circular (AC). [10]

19.1 AIRPORT NOISE AND CAPACITY ACT (ANCA) DE 1990.

Esta acta constituye la pieza principal de la legislación ambiental aeronáutica, ya que reconoce la necesidad de una política nacional para controlar el ruido aeronáutico. La parte crítica de esta acta, establece directamente la eliminación de las aeronaves que tengan una masa máxima de despegue superior a 75000 libras¹ (stage 2 o etapa 2), esto a partir del 1º de enero del año 2000. La versión final de esta acta, data de septiembre de 1991, establecida como la F.A.R. parte 91. Otro elemento importante de esta política, es la notificación y aprobación del ruido de aeropuertos y sus restricciones de acceso, establecidas en la parte 161 (F.A.R. 161). [10]

19.2 U.S. F.A.R. PARTE 36.

Establece el estándar de ruido que las aeronaves deben cumplir para obtener el certificado de tipo y aptitud para volar en Estados Unidos. La primera parte fue creada en 1977 para aplicaciones de aviación civil turbopropulsada subsónica y grandes aeronaves de hélice (sobre 12500 libras – 5700 [kg]). El gobierno fue posteriormente mejorando las regulaciones hacia la aviación civil supersónica y pequeños aviones de hélice (menores a 12500 libras) y helicópteros (apéndice H). Las mediciones realizadas a aeronaves individualizadas son publicadas en las Advisory Circular 36 (AC – 36). [2][10]

19.3 U.S. F.A.R. PARTE 91.

Esta parte limita las operaciones aéreas civiles en Estados Unidos, basados en la certificación F.A.R. parte 36. La característica más importante de esta regulación es que conlleva a la eliminación y a la progresiva eliminación de todo avión del tipo turbopropulsado civil sobre

¹ 75000 libras ≈ 34000 [kg]

75000 libras (stage 1). La nueva F.A.R. 91 incluyó una escalonada agenda para cumplir la eliminación de aeronaves que tengan una masa máxima de despegue superior a 75000 libras en diciembre de 1999 (stage 2). [2][10]

19.4 U.S. F.A.R. PARTE 150.

El programa de la parte 150 establece una metodología para conducir estudios de impacto acústico de aeropuertos y compatibilidad del uso de suelos. El programa se basa en un horizonte planeado de cinco años el cual es voluntario, y por ser hecho para cumplir con las leyes federales mencionadas, el programa es regulatorio. El enfoque empleado para conducir un estudio de planificación de la parte 150, se establece en la F.A.A. Advisory Circular 150/5020-1, *Noise Control and Compatibility Planning for Airports*. [36]

19.4.1 ELEMENTOS DE LA F.A.R. PARTE 150.

La F.A.R. parte 150 requiere el desarrollo de mapas indicando el impacto del ruido generado por el tráfico aéreo (Noise Exposure Maps, o NEMs), puestos sobre mapas existentes de uso de suelos, y el establecimiento de un programa que mitigue el uso no compatible de suelos (Noise Compatibility Program, o NCP). Los NEMs son trazados por el tráfico existente y el pronosticado para cinco años, considerando y sin considerar los beneficios del NCP. [2][36]

19.4.2 PLANOS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO, NEMs.

Los planos de exposición al ruido, juntan planos existentes del uso de suelos con los mapas de ruido, que representan las bandas de igual exposición al ruido, usando una medida de sonido constante. Los mapas de ruido se generan típicamente usando el Modelo de Ruido Integrado (Integrated Noise Model, o INM), aunque este no es el único modelo aceptado por la F.A.A. Para la mayoría de los NEMs, la medida sonora usada es el YL_{DN} (Nivel Corregido Día Noche Anual, ver en **Ec. 28**). [2][36]. Comparando esos niveles de ruido con el uso existente de suelos, se determina si el uso es compatible o no, como se muestra en la **tabla 19.4.2**:

USO DE SUELO	NIVELES SONOROS CORREGIDOS DÍA – NOCHE ANUAL (YL_{DN})					
	EN dBA					
	Bajo 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Mayor 85
RESIDENCIAL						
Residencial que no sean casas rodantes u otros alojamientos móviles.	S	N ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	N	N	N
Parques de casas rodantes.	S	N	N	N	N	N
Alojamientos móviles.	S	N ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	N	N
USO PÚBLICO						
Colegios.	S	N ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	N	N	N
Hospitales y casas asistenciales.	S	25	30	N	N	N
Iglesias, auditorios y salones de conciertos.	S	25	30	N	N	N
Servicios gubernamentales.	S	S	25	30	N	N
Transporte.	S	S	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁴⁾	S ⁽⁴⁾
Estacionamientos.	S	S	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁴⁾	N
USO COMERCIAL						
Oficinas, negocios y profesionales.	S	S	25	30	N	N
Ventas globales y de materiales de construcción y de granja.	S	S	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁴⁾	N
Comercio en general.	S	S	25	30	N	N
Instalaciones de empresas de distribución eléctrica, alcantarillado y agua potable.	S	S	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁴⁾	N
Comunicaciones.	S	S	25	30	N	N
MANUFACTURA Y PRODUCCIÓN						
Manufactura en general.	S	S	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁴⁾	N
Equipos fotográficos y ópticos.	S	S	25	30	N	N
Agricultura (excepto ganado) y silvicultura.	S	S ⁽⁶⁾	S ⁽⁷⁾	S ⁽⁸⁾	S ⁽⁸⁾	S ⁽⁸⁾
Granjas y crianza de ganado.	S	S ⁽⁶⁾	S ⁽⁷⁾	N	N	N
Minería y pesca, extracción y producción de recursos.	S	S	S	S	S	S
RECREACIONAL						
Coliseos cubiertos, con uso previsto de deportes sensibles al ruido.	S	S ⁽⁵⁾	S ⁽⁵⁾	N	N	N
Conchas de música en exteriores, anfiteatros.	S	N	N	N	N	N
Exhibiciones naturales y zoológicos.	S	S	N	N	N	N
Sitios de diversión, parques y campos.	S	S	S	N	N	N

Tabla 19.4.2. F.A.R. 150, Cuadro de compatibilidad para diferentes usos de suelos, según el YL_{DN} en dBA.

Fuente: [2]

Notas tabla 19.4.2. FAR 150 [2]:

S(Si) = Uso de suelo y estructuras relacionadas compatibles sin restricciones.

N(No) = Uso de suelo y estructuras relacionadas no compatible y debería ser prohibido.

25, 30, 35 = Uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que requieren la incorporación de medidas para lograr reducciones de ruido (NLR¹) de 25, 30 o 35 dBA.

⁽¹⁾ Cuando la comunidad determina que el uso residencial o escolar debe ser permitido, se deberán incorporar NLR de por lo menos 25 o 35 dBA, entonces puede ser incorporado en los códigos constructivos y ser aprobado individualmente. En construcciones residenciales estándares se espera que proporcionen un NLR de 20 dBA, así, requerimientos de reducción de 5, 10 o 15 dBA son a menudo declarados sobre la construcción estándar, y generalmente se asumen mecanismos de ventilación y ventanas cerradas todo el año. Sin embargo, el uso de los criterios NLR no reduce el ruido exterior.

⁽²⁾ Medidas que logren NLR de al menos 25 dBA deben incorporarse en el diseño y construcción de lugares de recepción de público, áreas de oficinas, áreas sensibles al ruido o donde el nivel normal de ruido de fondo sea bajo.

⁽³⁾ Medidas que logren NLR de al menos 30 dBA deben incorporarse en el diseño y construcción de lugares de recepción de público, áreas de oficinas, áreas sensibles al ruido o donde el nivel normal de ruido de fondo sea bajo.

⁽⁴⁾ Medidas que logren NLR de al menos 35 dBA deben incorporarse en el diseño y construcción de lugares de recepción de público, áreas de oficinas, áreas sensibles al ruido o donde el nivel normal de ruido de fondo sea bajo.

⁽⁵⁾ Uso de suelos compatible con tal de que se instalen sistemas especiales de refuerzo sonoro.

⁽⁶⁾ Edificios residenciales que requieren un NLR de 25 dBA.

⁽⁷⁾ Edificios residenciales que requieren un NLR de 30 dBA.

⁽⁸⁾ Edificios residenciales no permitidos.

¹ Nivel de reducción de ruido entre el exterior y el interior, el cual debe ser logrado con la incorporación de atenuación de ruido en el diseño y construcción de la estructura. (NLR – Noise Level Reduction). [2]

19.4.3 ESTÁNDARES Y SISTEMAS DE LA F.A.R. PARTE 150.

La F.A.R. parte 150 describe estándares específicos y sistemas para [2][10]:

- Mediciones de ruido.
- Estimación de exposiciones acumulativas de ruido usando modelaciones computacionales.
- Descriptores de exposición sonora, incluyendo niveles de ruido instantáneos, niveles de ruido para evento único y exposición acumulativa.
- Define el L_{DN} como: (Ec. 23)
- Define el nivel corregido día-noche anual, YL_{DN} , como:

$$YL_{DN} = 10 \log \left\{ \frac{1}{365} \sum_{J=1}^{365} 10^{\frac{L_{DNJ}}{10}} \right\} \quad \text{Ec. 28}$$

19.4.4 PROGRAMA PARA COMPATIBILIDAD AL RUIDO. (NCP)

Habiendo establecido los usos de suelo que no compatibles con el ruido aéreo, se deben estudiar alternativas para mitigar su impacto. Las opciones sugeridas por la F.A.A. incluyen [36]:

- Adquisición o restricciones de terreno.
- Barreras para atenuar el ruido.
- Uso por la F.A.A. de un sistema de uso preferencial de pistas.
- Uso por la F.A.A. de procedimientos de vuelo diseñados para abatir el ruido.
- Restricciones del uso de aeropuertos basados en ruido, como:
 - Limitaciones por el nivel de ruido.
 - Uso de procesos para reducir el ruido al despegar o aterrizar.
 - Cuotas de aterrizaje basadas en niveles de ruido certificados por F.A.A. u horas del día.
 - Limitaciones durante la noche.

Para formar una base lógica que facilite la toma de decisiones, se deben identificar y considerar los costos y beneficios de cada alternativa. En este punto, se seleccionan las

alternativas a ser incluidas en el NCP, que debe incluir una discusión detallada de cada elemento recomendado. El NCP y su documentación se entregan entonces a la F.A.A. para ser aprobados. [2][36].

19.4.5 FINALIZACIÓN DEL NCP.

Una vez que la F.A.A. acepta el NCP como completo, comienza un periodo de 180 días para comentarios del público. Después de haberse recibido y estudiado los comentarios, la F.A.A. otorga una determinación aprobando o no cada medida del NCP. Una vez hecha la aprobación, el operador puede solicitar asistencia financiera federal para implementar las medidas aprobadas. [36].

19.5 U.S. F.A.R. PARTE 161.

La parte 161 establece un programa de revisión de los niveles de ruido de aeropuertos, junto con las restricciones de acceso sobre el uso de aeronaves etapa 2 y 3. Esta regulación requiere que el administrador del aeropuerto examine los impactos acústicos en un área de estudio ocasionados por proposiciones de acceso y variaciones del nivel de ruido. El área debe incluir todas las localidades ubicadas dentro del contorno $YL_{DN} = 65$ dBA. Posteriormente se deben realizar las evaluaciones de acuerdo a la F.A.R. parte 150. [2][10]

20. REGULACIÓN DEL RUIDO DE AERONAVES DE LA OACI (ANEXO 16).

La mayoría de los países, por nombrar algunos, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, utilizan como referencia las normas especificadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en el Anexo de Protección del Medio Ambiente (Volumen I: Ruido de las Aeronaves). [14]

La medida de evaluación que maneja el anexo 16, está especificada en términos de EPNdB, haciendo referencia al nivel de ruido percibido efectivo L_{EPN} (en dBA), según se describe en el Método de evaluación para la homologación en cuanto al ruido de (Apéndice 2 del Anexo 16): Aviones de reacción subsónicos – Solicitud del certificado de aeronavegabilidad para el

prototipo aceptada el 6 de octubre de 1977 o después de esa fecha; aviones a hélice (de más de 5700 [kg] y más de 9000 [kg]) y helicópteros. Estas medidas de evaluación dependen del peso y del número de motores de las aeronaves.

20.1 PUNTOS DE REFERENCIA PARA MEDICIONES DE RUIDO.

Para el Capítulo 3 (más exigente) de esta norma, se especifican tres puntos de medición del ruido, los cuales se desprenden de ensayos de vuelo, donde se utiliza el empuje medio de despegue y altura máxima de despegue. Para su homologación, la aeronave no debe exceder los niveles de ruido especificados en la norma en los siguientes puntos [3]:

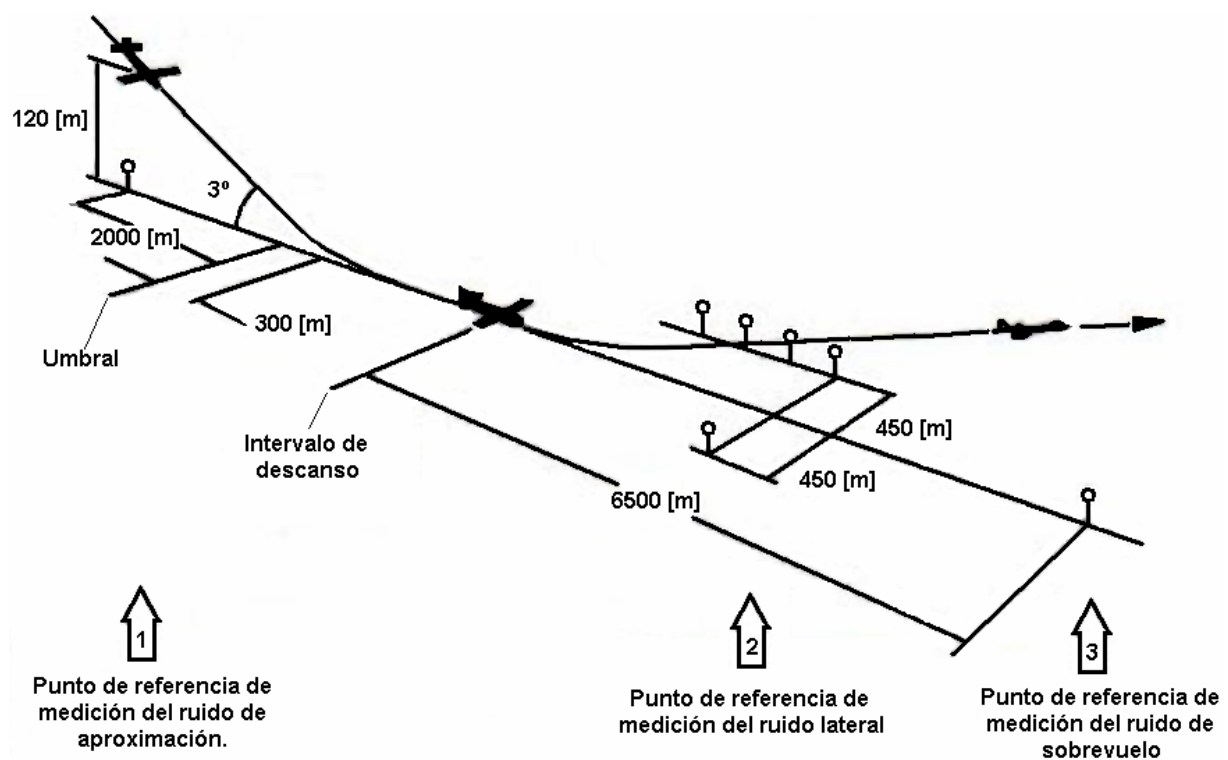


Figura 20.1. Puntos de referencia para la medición del ruido.

Fuente: Elaboración propia en base a [3]

- Punto de referencia de medición del ruido de aproximación (1): Punto sobre el terreno en la prolongación del eje de pista a 2000 [m] del umbral. En terreno horizontal, este punto se encuentra a 120 [m] por debajo de la trayectoria de descenso de 3° que intercepta la pista a 300 [m] más allá del umbral.
- Punto de referencia de medición del ruido lateral (2): Punto en una paralela al eje de pista, a 450 [m] del eje de pista o de su prolongación, en que el nivel de ruido de despegue sea máximo.
- Punto de referencia de medición del ruido de sobrevuelo (3): Punto en la propagación del eje de pista a una distancia de 6,5 [km] del comienzo del recorrido de despegue.

20.2 NIVELES MÁXIMOS DE RUIDO.

Los niveles máximos de ruido, cuando se determinen de acuerdo al método de evaluación del ruido expuesto anteriormente, no deben exceder los siguientes valores [3]:

20.2.1 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 1. (*APPROACH*)

105 EPNdB para aviones cuya masa máxima certificada de despegue, en relación con la cual se solicita la homologación en cuanto al ruido, sea igual o superior a 280000 [kg], valor que decrecerá linealmente con el logaritmo de la masa hasta 98 EPNdB que corresponde a aviones de una masa de 35000 [kg], después de lo cual el límite se mantiene constante.

Nota: Esta norma contiene las ecuaciones para el cálculo de los niveles de ruido en función de la masa de despegue en el *Adjunto A* del Anexo 16.

20.2.2 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 2. (*LATERAL*)

103 EPNdB para aviones cuya masa máxima certificada de despegue, en relación con la cual se solicita la homologación en cuanto al ruido, sea igual o superior a 400000 [kg], valor que decrecerá linealmente con el logaritmo de la masa hasta 94 EPNdB que corresponde a aviones de una masa de 35000 [kg], después de lo cual el límite se mantiene constante.

20.2.3 NIVELES MÁXIMOS PARA EL PUNTO 3. (*FLYOVER*)

a) Aviones de dos motores o menos:

101 EPNdB para aviones cuya masa máxima certificada de despegue, en relación con la cual se solicita la homologación en cuanto al ruido, sea igual o superior a 385000 [kg], valor que decrecerá linealmente con el logaritmo de la masa a razón de 4 EPNdB por cada disminución de la masa a la mitad, hasta 89 EPNdB, después de lo cual el límite se mantendrá constante.

b) Aviones de tres motores:

Igual que en a), pero 104 EPNdB para aviones cuya masa máxima certificada de despegue sea igual o superior a 385000 [kg].

c) Aviones de cuatro motores o más:

Igual que en a), pero 106 EPNdB para aviones cuya masa máxima certificada de despegue sea igual o superior a 385000 [kg].

20.3 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE REFERENCIA.

- Presión atmosférica a nivel del mar de 1013,25 [hPa].
- Temperatura del aire ambiente de 25° C, salvo que la autoridad encargada de la homologación permita la temperatura de referencia de 15° C.
- Si se utilizara una temperatura de referencia de 15° C, se agregará 1 EPNdB al nivel del ruido medido (y corregido) en el punto de medición de sobrevuelo, antes de compararlo con el nivel máximo de ruido.
- Humedad relativa del aire de 70% y sin viento.

Nota: La atmósfera de referencia es homogénea en lo que respecta a la temperatura y a la humedad relativa cuando se utiliza para el cálculo de los coeficientes de absorción atmosférica.

20.4 COMPENSACIONES.

Si se exceden los niveles máximos de ruido en uno o dos puntos de medición:

- La suma de los excesos no será superior a 3 EPNdB.
- Todo exceso en un solo punto no será superior a 2 EPNdB.
- Los excesos se compensarán por las reducciones correspondientes en otro u otros puntos de medición.

21. POLÍTICAS VIGENTES DE LA OACI.

La OACI, al abordar el ruido procedente de las aeronaves, ha desarrollado políticas sobre la forma de mitigar el ruido de aeronaves en su fuente, restricciones a las operaciones, procedimientos para la atenuación del ruido, planificación del uso de suelos y cobro de derechos. [26]

21.1 MITIGACIÓN DEL RUIDO EN SU FUENTE.

Por más de 30 años, la OACI ha enfocado gran parte de sus esfuerzos en mitigar el ruido de las aeronaves en su fuente. Actualmente, los aviones y helicópteros que se construyen deben cumplir con normas de homologación de la OACI. Los procedimientos de homologación están estipulados en el *Manual Técnico-Ambiental sobre aplicación de los procedimientos de homologación de las aeronaves en cuanto al ruido* (Doc 9501). [26][37][38]

Las aeronaves sin homologación acústica (NNC¹), no están previstas en el anexo 16, como es el caso, por ejemplo, del Boeing 707 y el Douglas DC-8. Aeronaves como el Boeing 727 y el Douglas DC-9 son ejemplos del Capítulo 2, y de las más modernas y silenciosas se tienen las del Capítulo 3, es el caso del Boeing 737-300/400, Boeing 767 y el Airbus A-319 entre otras. Además, a partir del 1º de enero (2006) comenzó a regir un nuevo estándar de ruido más estricto que el Capítulo 3, el nuevo Capítulo 4. [37]

¹ Non-noise certificated.

21.2 RESTRICCIONES A LAS OPERACIONES.

Algunos Estados, principalmente los países desarrollados, han considerado la posibilidad de restringir las operaciones de ciertas aeronaves ruidosas en sus aeropuertos. La OACI ha adoptado resoluciones y reglamentos para el equilibrio de las restricciones entre países desarrollados y en desarrollo, líneas aéreas, aeropuertos e intereses medioambientales. La OACI extendió desde 1995 una demora de siete años (hasta abril del 2002) para la eliminación de las aeronaves del capítulo 2 en países como Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Japón y la mayoría de los países europeos. (La U.S. F.A.A. adelanta la eliminación al 1 de enero del 2000). [26]

21.3 PROCEDIMIENTOS DE ATENUACIÓN DEL RUIDO.

En el Anexo 16 se especifican los procedimientos para la atenuación del ruido. Éstos, permiten la disminución del ruido durante las operaciones de despegue, aproximación, aterrizaje, preferencias de pistas y rutas, a un costo relativamente bajo. [26]

21.4 PLANIFICACIÓN DEL USO DE SUELOS.

El objetivo principal para asegurar que las actividades aéreas sean compatibles con su entorno, es reducir al máximo la población afectada por el ruido de las aeronaves introduciendo zonas de utilización de suelos alrededor de los aeropuertos. El control y la planificación del uso de suelos son de gran importancia para asegurar que las metodologías de reducción de ruido en las aeronaves no resulten contrarrestadas por la construcción de sectores habitacionales en las cercanías de los aeropuertos. [26]

21.5 DERECHOS RELACIONADOS CON EL RUIDO.

En el caso en que se cobren derechos relacionados con el ruido, la OACI recomienda que estos derechos debieran cobrarse únicamente en los aeropuertos en que haya problemas de ruido y que debieran estar dirigidos a recuperar solamente los gastos en que se haya incurrido para mitigar o evitar esos problemas, y que no debieran imponerse discriminando entre los usuarios

ni ser tan elevados que resulten prohibitivos para la explotación de determinadas aeronaves. La OACI considera que, a discreción de los Estados, los costos en que se incurre pueden imputarse a los aeropuertos y recuperarse cobrándoles a los usuarios. [26]

21.6 ACTUALIDAD.

Al igual que la OACI, la U.S. F.A.A. establece la Etapa 4, para nuevos tipos de diseños y tecnologías de aeronaves, a partir del 1º de enero de 2006. [41]

La *Dirección General de Aeronáutica Civil* de Francia, bajo petición de la OACI, desarrolló este año (2006) un sitio Web experimental de base de datos de ruido denominado [NoisedB](#)¹, el cual tiene por objetivo proveer datos de certificación de niveles de ruido para cada tipo de aeronave, garantizados y certificados por las autoridades. El sistema definitivo se espera que esté disponible en octubre del 2006, ya que esta aplicación intenta ser una fuente de información general para el público. [37]

22. DIRECTIVA 92/14/CEE RELATIVA A LA LIMITACIÓN DEL USO DE AVIONES.

La Directiva 92/14/CEE entró en vigencia en abril de 1995, y es una de las últimas de una serie de medidas legislativas iniciadas en 1979 (Directivas 80/51/CEE y 89/629/CEE). [17]

El objetivo de esta directiva es reducir el ruido, restringiendo la utilización de los aviones de reacción subsónicos civiles. La directiva se aplica a los aviones cuya masa máxima de despegue sea igual o superior a 34000 [kg] o cuya capacidad interior certificada para el tipo de avión de que se trate sea superior a 19 asientos para pasajeros, excluidos los asientos reservados a la tripulación. Además, se estipula que los estados miembros de la U.E. velen para que los aviones de reacción subsónicos civiles no se utilicen en los aeropuertos situados en su territorio a menos que se les haya concedido una certificación acústica correspondiente, ya sea por [20]:

¹ Noise Data Base. [40]

- Normas enunciadas en el Capítulo 3 de la segunda parte del segundo volumen del Anexo 16 de la OACI.
- Normas enunciadas en el Capítulo 2 de la segunda parte del primer volumen del Anexo 16 de la OACI, salvo que el certificado individual de aeronavegabilidad haya sido expedido por primera vez con una anterioridad de menos de 25 años.

Estas excepciones fueron concedidas para evitar dificultades económicas desmesuradas, por ejemplo, para las compañías de transporte aéreo de países en vías de desarrollo. [17]

23. VALORES LÍMITES DE EXPOSICIÓN AL RUIDO DE LOS AEROPUERTOS REGIONALES Y CAMPOS DE AVIACIÓN SEGÚN EL REGLAMENTO SUIZO 814.41.

El establecimiento de los valores límites de exposición al ruido de aeropuertos, forma parte del Anexo 5 del reglamento 814.41 Suizo [13]. Estos valores son aplicables al ruido del tráfico aéreo civil para los aeropuertos regionales y los campos de aviación.

Por otro lado, se aplica también en aeropuertos regionales y los campos de aviación utilizados exclusivamente por helicópteros, con valores límites de exposición en $L_{m\acute{a}x}$ aplicables además de los valores límites de exposición en L_r (nivel de evaluación).

Los valores límites están en función de los denominados *grados de sensibilidad*, según zonas con mayor o menor requerimiento acústico, ya sean zonas de descanso, instalaciones públicas, zonas de habitación, etc. Además, se explica el método para la determinación del nivel de evaluación (L_r) y el nivel medio (L_{eq}), los cuales son medidos en ponderación A, y dependen de los números de movimientos aéreos y una corrección de nivel (K).

Como observación al Anexo 5 del Reglamento Suizo, se puede decir que no se especifican los horarios para los valores límites de exposición (periodos de día, tarde y noche) y su procedimiento de aplicación resulta un poco engorroso y alejado de los estándares de exigencia para el ruido de aeronaves y aeropuertos; además carece de indicadores básicos de exposición de ruido para las medidas del impacto acústico de aeronaves.

24. NORMATIVA INTERNACIONAL ESPECÍFICA.

Las autoridades aéreas de algunos países han determinado sus propias regulaciones conforme a las peticiones de las comunidades. Así, se han desarrollado regulaciones nacionales o locales, con sus respectivos límites e índices, acordes a sus situaciones políticas, ambientales, económicas u otras. Estas regulaciones, para cada país, son establecidas mediante Leyes, Recomendaciones u Ordenanzas, dependiendo de la institucionalidad asociada a la fiscalización, control, y al marco legal que se tenga en cada país para contrarrestar estos problemas.

En Colombia, la autoridad ambiental establece regulaciones de niveles máximos permisibles de ruido por modelo de aeronave, en distintas estaciones de monitoreos de medición, instalados en distintos lugares del aeropuerto *El Dorado* de Bogotá. [46]

En Perú, se ha establecido como objetivos estratégicos por parte de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.) lograr el desarrollo aeroportuario en armonía con el medio ambiente. De esta forma, ha establecido su Política Ambiental, y dentro de este marco, se han desarrollado un conjunto de acciones para la protección del medio ambiente en los diferentes aeropuertos del país. [46]

En coordinación con la DGAC peruana, CORPAC S.A., solicitó la elaboración del primer estudio de ruido de aeronaves en el Perú, a fin de conocer los niveles de ruido generados por la operación de las aeronaves dentro del aeropuerto y en la zona urbana afectada, y para evaluar la efectividad de los procedimientos operacionales de atenuación de ruido del Aeropuerto Internacional *Jorge Chávez*. [46]

De forma similar, México establece una completa regulación de aeronaves y aeropuertos, debido a que este país, es miembro del Convenio de Aviación Civil de Chicago en los Estados Unidos (1944), por lo que ha aceptado el Anexo 16 de Protección del Medio Ambiente. [46]

En diciembre del 2005, se dio inicio en Chile a la elaboración de una Norma de Ruido para Aeropuertos (en desarrollo), constituyéndose un comité operativo para su elaboración. [47]

CAPÍTULO IV: MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES

25. INTRODUCCIÓN A LA MODELACIÓN ACÚSTICA.

Los medios predictivos son la única forma para analizar diferentes escenarios en el tiempo y condiciones de diseño de fuentes de ruido (planificación territorial, diseño urbanístico, distribución de tráfico, etc.). A continuación, se mostrará un extracto acerca de los medios predictivos presentados en [22], y parte de los análisis encontrados en [19].

La modelación acústica se basa en la aplicación de modelos matemáticos que predicen los niveles de ruido según la fuente sonora que los genera (tráfico urbano, carreteras, zonas industriales, aeropuertos, etc.). Es posible realizar predicciones del impacto de los cambios en el ambiente acústico producidos por el desarrollo urbano, utilizando estos modelos como herramienta de apoyo para la Evaluación de Impacto Ambiental. Las empresas e industrias pueden proyectar el cumplimiento de la legislación medioambiental y las modificaciones en su fábrica, analizar distintos puntos de vistas y escenarios, alternativas de transformación y diseños acústicos. Otra ventaja es que se reducen los costos de caracterización del entorno acústico que se desea estudiar y que puede entregar valores en condiciones meteorológicas en las cuales a veces no es posible realizar en la práctica.

Entre las metodologías de predicción se encuentran los métodos de ingeniería los cuales se basan en ecuaciones de predicción (de ruido de tráfico por ejemplo), los métodos de programas informáticos (ecuaciones, modelos), y aquellos basados en modelos a escala (utilizando aire, gas, agua). No cabe duda que el uso masificado del PC ha llevado consigo un gran desarrollo tanto a las ecuaciones de predicción como a aquellos modelos más complejos. La utilización de modelos a escala es poco usada en el ámbito de mapas de ruido de zonas extensas, como ciudades.

El uso del PC ha permitido el desarrollo de programas computacionales que mejoran las técnicas tradicionales de cálculo, permitiendo el cambio fácil y recalculado del modelo matemático, dando la posibilidad de comparar una variedad de escenarios diferentes con rapidez. Una de las ventajas de estos programas es que permiten modelar más de una fuente de

ruido a la vez, obteniendo resultados mucho más cercanos a la realidad. Cada fuente de ruido está tratada independientemente para luego integrarse a una visión más global. Las predicciones se llevan a cabo siguiendo modelos de propagación del sonido en diferentes direcciones y condiciones.

En el mercado existe una variedad de programas computacionales comerciales que permiten modelar situaciones acústicas en exteriores. Además de sus propios modelos y formas de cálculo, algunos tienen la capacidad de adaptarse a normas internacionales o locales. Estas metodologías son destacables ya que requieren un mínimo equipamiento para entrar en funcionamiento (PC, digitalizador, técnico, etc.), y no necesitan de costosas y extensas campañas de medición.

De los requisitos necesarios para el uso de estos modelos de propagación acústica en exteriores, lo primero es generar el modelo geográfico del área en cuestión. Los datos de entrada son a través de mapas topográficos en archivos en formatos BMP/DXF, o mediante la digitalización de mapas cargados directamente al PC. Obtenida la caracterización del área de estudio (geografía, construcciones y edificaciones, clima, etc.), se procede a la identificación de las fuentes de ruido y sus características de emisión (tipo de fuente: puntual, lineal, superficial; directividad, potencia acústica por bandas de frecuencias, etc.). A continuación se seleccionan los puntos en los cuales se desea saber la situación acústica (por lo general receptores unitarios o rejillas). Luego se procede a realizar los cálculos de la simulación de acuerdo a un determinado proceso matemático (normas, estudios, modelos empíricos, etc.). Los resultados son mostrados en forma de tablas, gráficos y dibujos, en mapas coloreados en diferentes vistas, 2D, 3D, etc. y se contrastan los datos obtenidos con algún patrón (norma, criterio, recomendación), que permita obtener alguna conclusión.

En relación a los datos posibles de entregar, una de las virtudes más sobresalientes es que los valores de niveles de ruido se pueden obtener más allá de la primera fachada. Si se trabaja de forma adecuada con los planos cartografiados, los niveles de ruido proyectados en patios interiores y fachadas distintas a las más expuestas, son valores mucho más reales que los que se podrían obtener con otro método. Mientras más preciso el método de cálculo y los datos de

ingreso al modelo, mayor aún serán las precisiones de estos valores. Cabe señalar que no todos los programas son capaces de cumplir con estas funciones.

Contar con la cartografía digital suele ser uno de los inconvenientes más comunes en la aplicación de estos modelos en el PC. En ocasiones no se cuenta con tales archivos, o bien no están actualizados para los objetivos de la simulación (pueden dejar de lado nuevas zonas, construcciones, carreteras o importantes caminos), o bien, es necesario modelar una fuente sonora que no existe y modificará el entorno (una carretera por ejemplo). En estos casos, la elaboración de tales cartografías es muy engorrosa y acarrea mucho tiempo. Lo mismo sucede con la gran cantidad de datos de emisión y datos geográficos que requieren los modelos para su funcionamiento, y que por lo general requieren una gran cantidad de tiempo conseguirlos e ingresarlos.

Otro inconveniente es la necesidad de darle validez al modelo que se utiliza de acuerdo a las características de la fuente emisora, al igual que los modelos de predicción de ruido de tráfico. Los datos que deben obtenerse a partir de mediciones de casos reales, por lo general, obligan al usuario del Software a un proceso de experimentación con el programa, hasta crear su propia base de datos de proyectos y ensayos suficientes como para que, de una manera confiable, pueda asegurar sus predicciones. Siempre es necesario conocer el comportamiento real de dicho modelo, y quien deba realizar un trabajo de ingeniería acústica sabrá lo importante que es conseguir, con la mayor certeza posible, el comportamiento futuro de una fuente de ruido, para así diseñar las medidas apropiadas capaces de corregir tales emisiones. **De cometer errores en la predicción, los costos de los diseños asociados a este pronóstico pueden, incluso, determinar la viabilidad de un proyecto.**

La modelación por PC tiene garantizada un futuro como protagonista en el control de ruido ambiental. Una vez que se unifiquen los criterios y algoritmos a utilizar, los requisitos básicos para estos procedimientos y las dificultades que existen actualmente, serán los principales métodos utilizados en el futuro. La OMS¹ los identifica como herramientas poderosas para la interpolación, predicción y optimización de estrategias de control. También establece que los

¹ Organización Mundial de la Salud. [WHO]

modelos deben ser validados por medidas reales. La Unión Europea los destaca como la forma futura de elaborar mapas de ruido.

26. MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.

26.1 INTRODUCCIÓN.

Aeropuertos, aerolíneas, autoridades y las personas que viven en entornos aeroportuarios están preocupados por el ruido de aeronaves alrededor de los aeropuertos. Históricamente se han hecho esfuerzos para evaluar y retratar el ruido. Existen dos vías para evaluar el efecto de las operaciones aeroportuarias en el ámbito del ruido alrededor de los aeropuertos: Monitoreo y Modelación. Idealmente se deberían desplegar grandes arreglos de estaciones de monitoreo de ruido alrededor de los aeropuertos, pero en realidad esta decisión podría ser excesivamente costosa y no sería del agrado de las personas ver grandes cantidades de micrófonos por todos lados. Los modelos de ruido de aeronaves son representaciones matemáticas que están más cerca de nuestra realidad. Tales modelos son capaces de reproducir estimaciones exactas de la exposición del ruido alrededor de aeropuertos a un costo razonable. Los modelos de ruido de aeronaves pueden también ser usados para predecir los futuros niveles de ruido y llevar a cabo análisis que permitan la reducción y mitigación del ruido. [23]

26.2 TIPOS DE SOFTWARES DE MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.

Hoy en día desde que se han incrementado las capacidades computacionales los modelos de simulación de ruido de aeronaves son una herramienta para la Evaluación del Impacto Acústico.

Dentro de los programas computacionales más tradicionales de modelación de ruido de aeronaves podemos encontrar el modelo INM¹ (U.S. F.A.A.), y entre los modelos más recientes, RNM² (NASA) y NMSim³ (U.S. Air Force).

¹ Integrated Noise Model.

² Rotorcraft Noise Model.

³ Noise Model Simulation.

26.2.1 EL MODELO INM (INTEGRATED NOISE MODEL).

La necesidad de obtener datos de calificación aeronáutica, incluyendo datos de los niveles de ruido, siguiendo las directrices de la F.A.A. por parte de todas las aeronaves antes de obtener el certificado de aeronavegabilidad, obligó a desarrollar un método de cálculo. [14]

A partir de ahí se desarrolló en Estados Unidos una metodología conocida como INM. Ésta tecnología ha sido ampliamente utilizada en varios países y es muy conocida entre los especialistas de modelación de ruido de aeronaves. El Software está extensamente disponible y adopta las prácticas recomendadas por la Sociedad de Ingenieros Automotores (SAE¹). Entre los países que incluyen el uso de este modelo se encuentran, Australia, Bélgica, Grecia, Hong Kong, España, Estados Unidos, aunque se viene utilizando por más de 700 organizaciones en más de 30 países en la planificación de uso de suelos en torno a los aeropuertos desde su primera versión en 1978 [14][44]. INM tiene un uso destacado en Estudios de Impacto Acústico de aeropuertos en Chile. Otros países usan variantes de este modelo, por ejemplo, Dinamarca y Finlandia tienen su propio modelo (DANSIM) con el banco de datos de INM, así como el Reino Unido (ANCON). La fuerza aérea norteamericana también tiene su propio modelo (NoiseMap), un modelo análogo a INM para uso militar. [42]

INM es utilizado en la F.A.R. parte 150 en planificación sonora de aeropuertos y por la F.A.A. Order 1050.1E² para estudios de impacto ambiental en los Estados Unidos. En su utilización en estos procedimientos el usuario obligatoriamente debe elegir los valores normalizados que aparecen en la base de datos de las aeronaves. [44]

Uno de los factores que hacen de INM una pieza básica en cualquier estudio de impacto ambiental de aeropuertos es la información que caracteriza cada una de las más de 216 aeronaves incluidas en su base de datos (en su mayoría provenientes de la homologación U.S. F.A.R. Part 36). [14]

¹ Society of Automotive Engineers.

² Policies and Procedures for Considering Environmental Impacts. [43]

El disponer de datos confiables de ruido generado por las diferentes aeronaves en los diferentes procesos de vuelo en las proximidades del aeropuerto es fundamental para obtener valores válidos del impacto sonoro que estas aeronaves ocasionan. Este hecho convierte a INM en un programa de casi obligada utilización. [14]

26.2.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN.

El campo de aplicación de INM cubre aquellos estudios en donde es necesario conocer los impactos sonoros ocasionados por [44]:

- La construcción de nuevas pistas.
- La modificación del tráfico aeroportuario.
- La ubicación de un nuevo aeropuerto.
- La ubicación de servicios en las cercanías de un aeropuerto.
- La planificación de uso de suelos en las cercanías de un aeropuerto.

Todas estas utilidades deben estar enfocadas a la planificación tanto para el uso de suelo como el uso del aeropuerto.

La navegación aérea es posiblemente el medio de transporte que más estrictamente se ve controlado por normas de seguridad. Estas normas incluyen el uso de trayectorias establecidas y de procedimientos de vuelo perfectamente definidos. Esta rigidez permite la utilización de valores estándar en las operaciones de vuelo de las aeronaves.

En las simulaciones de aeropuertos es indudable la necesidad de utilizar estos valores estándar para definir las operaciones de las aeronaves. Estos valores, evidentemente, no siempre se cumplen al pie de la letra, ya que en función de la seguridad de los pasajeros y del tráfico de la zona pueden alterarse. En las aplicaciones de INM es recomendable utilizar como base las trayectorias y los procedimientos de vuelo estándar siendo la validez de los resultados función de la desviación con respecto a estos valores estándar. [14]

Es posible modificar tanto las trayectorias como los procedimientos de vuelo, pero estas utilidades estarán más enfocadas a la consecución de un impacto sonoro mínimo una vez que se haya constatado el impacto real de las operaciones estándar. Los valores estándar son aquellos que permiten un mayor grado de seguridad, con lo que modificaciones de trayectorias y operaciones de vuelo no son simples de obtener. [14]

26.2.1.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE INM.

INM utiliza un modelo de valor-promedio diseñado para estimar el efecto promedio en un gran período de tiempo (metodología de cálculo SAE – AIR – 1845¹). El modelo que utiliza no es un modelo acústico detallado, la finalidad de INM no es conocer los niveles sonoros exactos que genera una determinada aeronave en un determinado vuelo, sino el estimar los niveles sonoros generados por una determinada hipótesis de tráfico en un aeropuerto. Este hecho implica la utilización de valores promedio, dejando de lado la utilización de parámetros físicos estrictos que aunque influyen en la propagación del ruido (perfiles de temperatura, gradientes de vientos, directividad de motores, etc.) lo hacen en un grado de precisión tal que aquí no es necesario. [28][39][44]

INM tiene una base de datos **NPD**² aumentada por una base de datos de características espectrales (datos utilizados sólo para el cálculo de la atenuación atmosférica). Los datos NPD de una aeronave, que no pueden ser definidos por el usuario, consisten en varios niveles de dB en función del estado de potencia de los motores de la aeronave y distancia del observador a la aeronave. [39]

Para calcular el nivel de presión sonora, el programa divide las trayectorias en varios segmentos. La ventaja que presentan los programas de segmentación de las trayectorias de vuelo, es que cada segmento se puede evaluar bajo condiciones distintas dentro de una misma trayectoria, para cambiar las condiciones de potencia de los motores en función del tipo de movimiento que realice la aeronave (subir a velocidad constante, acelerar manteniendo la altura, etc.). Uno de los primeros cálculos que realiza es el geométrico, calcula la distancia

¹ Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports – Aerospace Information Report.

² Noise – Power – Distance.

más corta entre los distintos puntos de la retícula y la trayectoria de vuelo, la línea perpendicular que los une. En cada segmento de cálculo, la perpendicular, puede estar delante, entremedio o detrás de los puntos que definen el segmento. Esta distancia calculada es importante, puesto que a partir de ella se calcula la energía de exposición sonora, de cada segmento. [39]

$$E_{\text{seg}} = 10^{\frac{(L_{E,P,d-ADJ} + NF_{ADJ} - DUR_{ADJ} - LA_{ADJ} + DIR_{ADJ})}{10}} \quad \text{Ec. 29}$$

$L_{E,P,d-ADJ}$ es el nivel de presión sonora que resulta del proceso de interpolación de la potencia de los motores con el logaritmo de la distancia, ajustándolo con la absorción atmosférica y la impedancia acústica. NF_{ADJ} es el ajuste de la fracción de ruido para pasar de una trayectoria recta infinita, a la cual se le han calculado las curvas NPD, a una trayectoria de segmento. DUR_{ADJ} es el ajuste de la duración de la velocidad de la aeronave. LA_{ADJ} es el ajuste de la atenuación lateral. DIR_{ADJ} es el ajuste de directividad, el cual sólo se aplica en el segmento de trayectoria que se propaga por el suelo de la pista en las operaciones de despegue. [28]

Una vez calculada la energía de exposición sonora de cada segmento, se calcula la de vuelo, para terminar calculando la total [28]:

$$E_{\text{vuelo}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^{n_{\text{seg}}} E_{\text{seg}(i)} \right] \quad \text{Ec. 30}$$

$$E_{\text{total}} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^{n_{\text{vuelo}}} E_{\text{vuelo}(i)} \right] \quad \text{Ec. 31}$$

El algoritmo de cálculo que mayores problemas presenta, es el algoritmo de cálculo de la atenuación lateral [28]. Este algoritmo se basa en la norma SAE – AIR – 1751¹. Este método

¹ Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise during Takeoff and Landing.

de predicción comprende dos fenómenos físicos básicos, los efectos de la instalación de motores y los efectos del suelo. Aeronaves tales como los Boeing-727 y los DC-9/MD80 se adaptan mejor a la norma. En cuanto a los efectos de instalación de motores, las que más se ajustan son las aeronaves más modernas como las familias B-737, B-757 y A-320. De cualquier manera, los efectos en cuanto a instalación de motores son despreciables respecto de los efectos debidos por el suelo. La atenuación que se produce debido al efecto de suelo según el método que utiliza la norma, es excesivo, y esto ha llevado al replanteamiento de la fórmula de calcular la atenuación lateral. Actualmente se está trabajando en un modelo el cual tiene en cuenta las condiciones del terreno, siendo las ecuaciones de cálculo distintas en el caso de que el terreno sea duro o blando. En el futuro será posible cambiar las condiciones del terreno por parte del usuario y elegir entre terreno duro, blando, o mixto, con lo que se prevé que el modelo será más aproximado a la realidad. [28]

26.2.1.3 DATOS DE ENTRADA.

La información que se le suministra al programa hace referencia a la descripción del aeropuerto incluyendo tanto pistas como emplazamiento, a la descripción de todas las trayectorias de vuelo, a la descripción de cada una de las aeronaves que realizan operaciones, descripción del número de operaciones idénticas realizadas por cada aeronave en cada trayectoria en diferentes períodos del día y, por último, la definición de la zona de estudio en las cercanías del aeropuerto. [14]

26.2.1.4 DESCRIPCIÓN DEL AEROPUERTO.

INM es un programa desarrollado en su totalidad por la U.S. F.A.A., es por ello que aunque es de fácil utilización en cualquier aeropuerto del mundo, está optimizado para los norteamericanos, en donde solo es necesario seleccionar el aeropuerto en cuestión para tener toda la información necesaria.

En el caso de otros aeropuertos, se debe introducir una serie de valores que definirán al aeropuerto. Estos valores definen el origen de coordenadas del estudio (a ser posible en la

cabecera de una de las pistas), las coordenadas de cada una de las cabeceras de pista, la temperatura del periodo promedio a estudiar y la altura del aeropuerto. [14]

26.2.1.5 DESCRIPCIÓN DE LAS TRAYECTORIAS.

INM necesita la descripción exacta en 3D de las trayectorias utilizadas en todas las operaciones de vuelo de un aeropuerto. A lo largo de las diferentes versiones se han ido implementando nuevas utilidades que han permitido facilitar al máximo la introducción de estas trayectorias. En la actualidad es posible introducirlas a través de la información suministrada por radar. [14][23]

En principio, la trayectoria 3D se define a partir de dos informaciones independientes entre sí. El usuario necesitará introducir la definición en planta (2D) de la trayectoria, y la tercera dimensión vendrá dada del perfil utilizado en cada operación por cada aeronave.

Aunque estos perfiles de operación pueden ser modificados, para Estudios de Impacto Acústico no es adecuado hacerlo, ya que los perfiles que se indican para cada aeronave (incluidos en la base de datos de INM) son los valores más adecuados para ellas.

La descripción de la trayectoria en planta (2D) viene dada por una serie de segmentos rectos o circulares de determinadas características que, unidos a una cabecera de pista, definen por completo la trayectoria. Cada trayectoria deberá ir ligada a un determinado tipo de operación que podrá ser de despegue, aterrizaje, sobrevuelo. [14]

26.2.1.6 DESCRIPCIÓN DE AERONAVES Y OPERACIONES.

INM permite definir acústicamente cualquier tipo de aeronave (incluso algo tan diferente como un helicóptero puede ser caracterizado con INM), pero esta acción raramente debe ser realizada debido al gran número de aeronaves incluidas en la base de datos.

Con tal de seleccionar el nombre de la aeronave, esta quedará perfectamente definida para cualquier cálculo que se necesite realizar.

Además de las aeronaves que utilicen el aeropuerto, se debe detallar para cada una de estas aeronaves qué tipo de operación realiza, cual es la trayectoria y cuantas veces, en los diferentes periodos del día, las desarrolla. Es por ello que para definir el tráfico del aeropuerto es necesario conocer:

- La aeronave.
- El tipo de operación (despegue, aterrizaje, sobrevuelo).
- La trayectoria de la operación.
- Número de vuelos en los periodos día (D) - tarde (E) - noche (N).

El periodo D incluye aquellas operaciones entre 7:00 y 19:00 horas, el E incluye aquellas operaciones realizadas entre 19:00 y 22:00 horas, mientras que el periodo N incluye las operaciones entre 22:00 y 7:00 horas. [14]

26.2.1.7 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La descripción de la zona de estudio donde se van a calcular los niveles sonoros generados por el funcionamiento del aeropuerto puede realizarse de forma independiente para cada una de las posibles modalidades de cálculo que presenta INM. Así se puede definir un rectángulo donde incluir los contornos de igual valor de parámetro; o un reticulado rectangular en cuyas intersecciones se puede calcular los valores de los diferentes parámetros; o un nuevo reticulado rectangular en cuyas intersecciones se puede calcular los valores de los diferentes parámetros debidos a cada operación concreta. [14][44]

Independientemente de estas modalidades de zona de estudio, es posible definir puntos concretos a los que se les denomina Localizaciones. El usuario podrá conocer el valor concreto de un determinado parámetro en dichas localizaciones. [14]

26.2.1.8 TIPOS DE PARÁMETROS.

INM permite el cálculo de dos tipos de parámetros diferentes, los que presentan ponderación A, y los parámetros percibidos corregidos por la presencia de tonos.

Dentro del grupo de variables con ponderación A se incluyen [14]:

- *DNL* : Nivel Promedio Día-Noche. (L_{DN})
- *CNEL* : Nivel Equivalente de Ruido Comunitario.
- *LAEQ* : Nivel Sonoro Equivalente 24 horas.
- *LAEQD* : Nivel Sonoro Equivalente Día (7:00 – 22:00 horas).
- *LAEQN* : Nivel Sonoro Equivalente Noche (22:00– 7:00 horas).
- *SEL* : Nivel de Exposición Sonora.
- *LAMAX* : Nivel Sonoro Máximo. ($L_{A,máx}$)
- *TALA* : Tiempo en que se ha superado un umbral.

Dentro de los parámetros percibidos corregidos por presencia de tonos se incluyen:

- *NEF* : Noise Exposure Forecast.
- *WECPNL* : Nivel de Ruido Continuo Percibido Ponderado.
- *EPNL* : Nivel Sonoro Efectivo Percibido. (L_{EPN})
- *PNLTM* : Nivel *PNLT* Máximo.
- *TAPNL* : Tiempo en que el nivel *PNLT* ha superado un umbral.

INM también permite la posibilidad de definir un parámetro, pero este debe acogerse a los modelos establecidos, esto es, con ponderación A o corregido por la presencia de tonos. En estas definiciones sólo es posible modificar el valor de las constantes, pero no la forma de la ecuación que define el parámetro. [14]

27. MODELOS RECIENTES PARA MODELACIÓN DE RUIDO DE AERONAVES.

27.1 INTRODUCCIÓN.

Los modelos tradicionales para ruido de aeronaves para campos de operaciones o aeropuertos fueron basados en la integración de sus propias asunciones para límites computacionales cuando fueron recientemente desarrollados. Estas asunciones incluyen superficies lisas, promedio de los efectos atmosféricos anuales e integran una simple fuente sonora. Usando estas simplificadas asunciones, la acumulación de exposición sonora de las operaciones aéreas es estimada. Estas modelaciones trabajan bien en ambientes uniformes (sin viento, características atmosféricas estándar y superficies lisas). Sin embargo, recientes desarrollos de INM y NoiseMap han incluido los efectos topográficos y propagación de ruido de aeronaves. Tales efectos han llevado a mejorar el cálculo de L_{DN} para ciertos casos, pero esto mostró otros efectos que también necesitan ser considerados, directividad de la fuente, propagación no-lineal, y efectos meteorológicos de cada estación del año. Con el incremento de las capacidades computacionales, las limitantes pasadas ya no son tan justificadas y los modelos de simulación son factibles. [24]

27.2 ANTECEDENTES.

La formulación básica para el cálculo de los modelos de ruido es la segmentación de vuelos individuales en una serie de radios de giro rectos y constantes. En cada segmento, una fracción de ruido puede estar determinada por una longitud infinita de segmentos que representan mejor las condiciones de operación del segmento. SEL para la operación es calculado por la sumatoria de fracciones de ruido. [24]

En las representaciones donde la operación de vuelo es modelada por una serie de segmentos (figura 27.2), la fracción de ruido para cada segmento está basada en los puntos finales del segmento (receptor) y el punto de acercamiento final a la ruta de vuelo. Estos trabajos están bien representados para ambientes uniformes. [24]

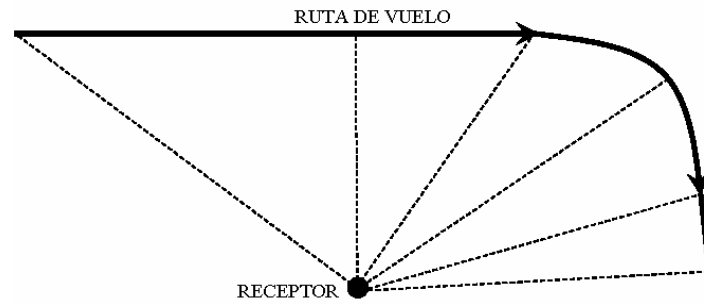


Figura 27.2. Diagrama de cálculo de *SEL* para la modelación de ruido integrado. Fuente: [24]

Si contamos con un modelo con efectos adicionales (figura 27.2.1), al incluir estos efectos, el cálculo se vuelve dependiente de la operación de los segmentos. Por ejemplo, si la ruta no intercepta rasgos importantes del terreno, entonces el cálculo será inexacto. Más aún, esta inexactitud será magnificada si esta omisión ocurre cerca del ángulo de radiación de máximo ruido de la aeronave. Para estos modelos, la única manera de superar las limitantes es hacer pequeños segmentos cerca de la ruta de vuelo. Como las longitudes del segmento disminuyen, entonces la exactitud aumentará. Este decrecimiento está en el límite del tamaño del segmento lo que afecta directamente la simulación base de estos modelos. [24]

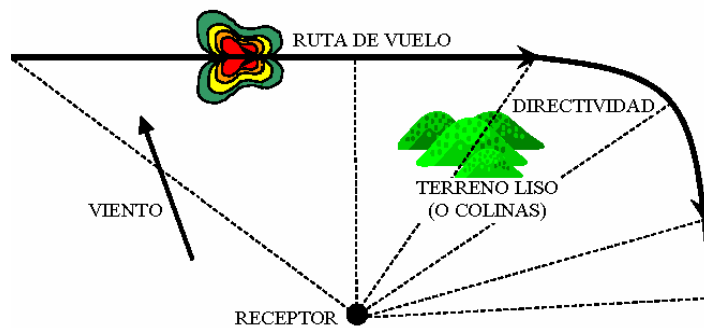


Figura 27.2.1. Diagrama de cálculo de *SEL* para la modelación de ruido integrado con rasgos adicionales.

Fuente: [24]

27.3 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS RNM y NMSim.

Rotorcraft Noise Model (RNM) y Noise Model Simulation (NMSim) son dos desarrollos recientes para la modelación del ruido de aeronaves. RNM ha sido desarrollado a través de un proyecto de la N.A.S.A.¹ para proporcionar una representación más exacta y natural de la direccionalidad del ruido de los motores de vuelo. Está diseñado específicamente para el análisis de ruido de helicópteros. NMSim ha sido desarrollado a través de una serie de proyectos separados, fundados por la Fuerza Aérea Norteamericana (U.S. Air Force) y el Servicio Nacional de Parques (National Park Service). NMSim está enfocado en el ruido de aeronaves, aunque también ha sido usado para modelar el ruido de rodado de vehículos, bocinas, y carreteras. Ambos modelos están siendo desarrollados bajo la asesoría adicional de la NASA y el Programa Estratégico de Investigación y Desarrollo Medioambiental (Strategic Environmental Research and Develop Program) e incluyen los efectos de la no-linealidad, la propagación bajo efectos meteorológicos y el desarrollo de herramientas de visualización dinámica. [24][25]

RNM y NMSim tienen la misma estructura básica computacional: Fuentes de ruido espectralmente definidas, parámetros operacionales, rutinas de propagación y cálculo métrico para las ubicaciones del receptor. Para una operación dada, la flexibilidad es mantenida en la descripción del ruido recibido, en el momento en que los modelos calculan el tiempo espectral registrado. Su flexibilidad es dependiente de la descripción de los datos de la fuente de ruido. Los datos de la fuente son principalmente medidos en bandas de 1/3 de octava y recolectados bajo condiciones controladas y procesados como datos hemisféricos. La figura 27.3 muestra una representación visual de los datos de fuente de ruido de un helicóptero. Esta figura nos muestra el nivel de presión sonora global en un hemisferio con un radio de 30 [m]. Cada hemisferio representa una condición de operación única para la aeronave. Así, una gran matriz hemisférica de sonido es requerida para modelar el ruido de la aeronave. [24]

¹ National Aeronautics and Space Administration.

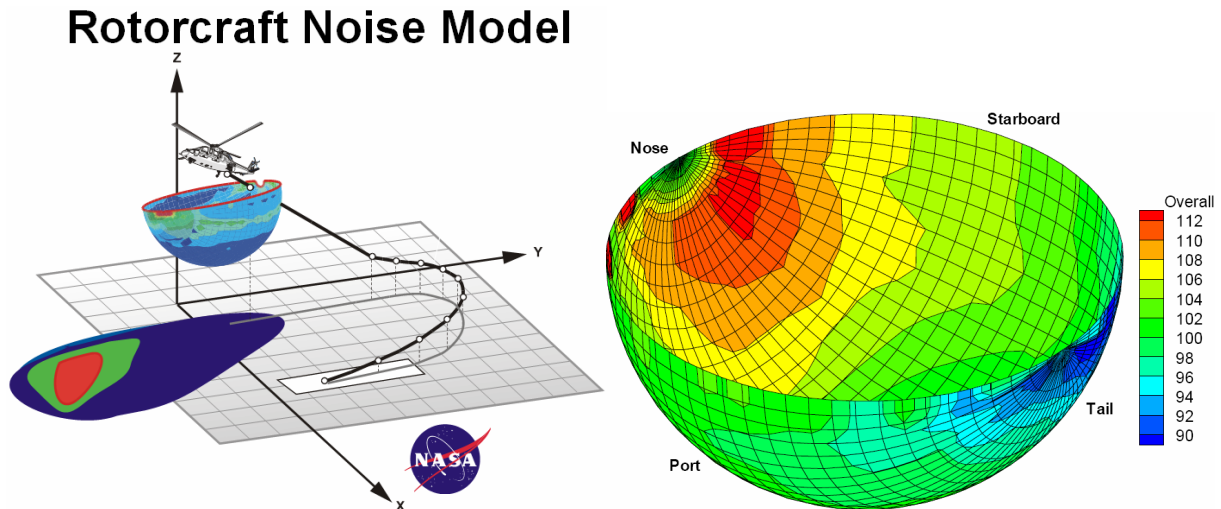


Figura 27.3. Ejemplo de modelación de ruido de un helicóptero en hemisferio inferior usando RNM.

Fuente: [24][25]

La operación de la aeronave está descrita a lo largo de vectores de ruta de vuelo que están simulados en el tiempo. De esta descripción de la ruta de vuelo, el ruido de la aeronave es propagado analíticamente a través de la atmósfera hacia la ubicación de los receptores. La ubicación de los receptores pueden ser específicamente lugares de una retícula de puntos. Las versiones actuales de RNM y NMSim tienen formulaciones de caminos de rayos rectos. La rutina de propagación cuenta con extensiones esféricas, absorción atmosférica, reflexión y atenuación de suelo, variaciones de superficie de tierras, cambios *Doppler*¹ y diferencias de fase (para fuentes de tonos puros). La formulación para caminos de rayos curvados está llevándose acabo actualmente en estos modelos para llegar a los efectos de propagación atmosférica. En las ubicaciones de los receptores, los modelos entregan un detallado espectrograma de tiempo del ruido recibido. Para una retícula de puntos los modelos pueden generar animaciones dinámicas del espectro de tiempo calculado. [24]

¹ Efecto común en los fenómenos ondulatorios y se produce siempre que hay un movimiento relativo entre una fuente y un receptor. Se caracteriza por un cambio aparente de la frecuencia en el receptor con respecto a la realmente emitida. [16]

27.4 OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS.

Una simulación basada en el ruido recibido puede ser descrita en más detalles relativos a la fórmula integrada. La diferencia principal es que la simulación ya no se limita a las mediciones basadas en integración, como L_{DN} , Leq y SEL . L_{DN} ha sido muy bien usado como fundamento para la evaluación global para impactos acústicos alrededor de aeropuertos. Sin embargo, medidas suplementarias han sido recomendadas para reforzar la descripción del ruido, especialmente para los lugares sensibles. Muchas medidas de ruido han sido usadas para suplementar a L_{DN} . Estas incluyen “Tiempo Superado” (TA^1) y “Número de Eventos Superados” (NA^2), así como las medidas integradas de SEL y Leq . Además de estas medidas, otras están siendo estudiadas para proporcionar una mejor descripción del ruido medioambiental para fabricantes y el público. [24]

En un cálculo de simulación, medidas como el TA pueden ser directamente calculadas de manera opuesta a la estimación empírica. Otro rasgo importante de cálculo de simulación es la habilidad de usar diferentes frecuencias. Esto mejora nuestra habilidad para evaluar los potenciales impactos en animales domésticos y la fauna, así como la transmisión en edificios. La habilidad para calcular la transmisión de ruido en edificios incrementa de manera importante cuando la preocupación crece en el caso del impacto de ruido de aeronaves en las salas de clases. [24]

27.5 EJEMPLOS.

Como ejemplo de la optimización del análisis se muestra una comparación para el ruido en tierra en las operaciones de prueba de motores de aviones o *run-up*. La figura 27.5 izquierda muestra el cálculo de $L_{A,máx}$ basado en los algoritmos de propagación de los modelos de integración, asumiendo superficies lisas con cubiertas de tierra acústicamente suaves. La figura 27.5 de la derecha muestra el cálculo optimizado $L_{A,máx}$ con efectos de tierra incluidos. Esta última demuestra la compleja interacción de la propagación del ruido en terrenos locales, incluso definiendo una simple fuente estática. Al incluir movimientos y otras características

¹ Time Above.

² Number of Events – Above.

dependiendo de la fuente, el cálculo de propagación del ruido empieza a ser cada vez más complejo. [24]

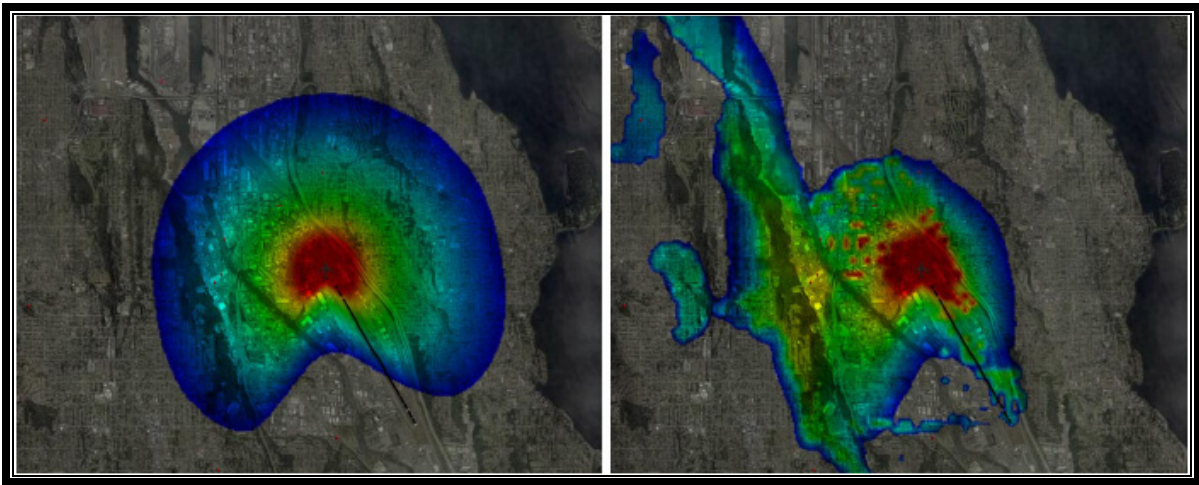


Figura 27.5. Izquierda: Prueba de motores *run-up* sin efectos de tierra. Derecha: Prueba de motores *run-up* con efectos de tierra incluidos. Fuente:[24]

NMSim por ejemplo, provee de poderosas capacidades de modelación de ruido tridimensional como se muestra en la figura 27.5.1:

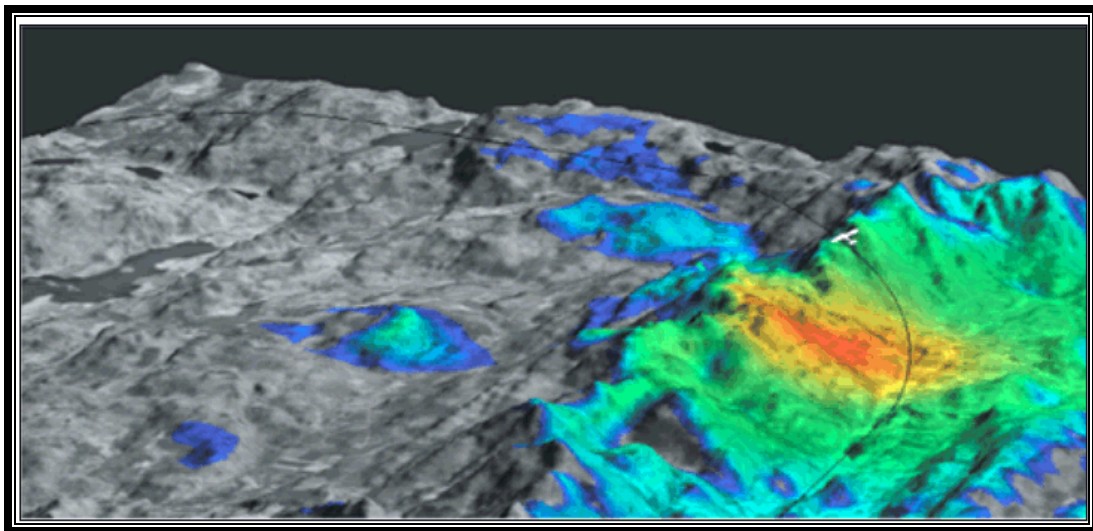


Figura 27.5.1. Simulación del vuelo de una aeronave mostrando complejos efectos de tierra usando NMSim. Fuente: [45]

Esto da como resultado visualizaciones analíticas entregando niveles de ruido, así como la localización y las características de vuelo. [45]

Estos nuevos modelos de simulación son necesarios para representar propiamente el ruido de complejas fuentes de propagación en condiciones más realistas. Permiten incluir efectos de propagación por directividad, no-linealidad, efectos atmosféricos y de tierra. Más aún, los cálculos simulados permiten más medidas acústicas para ser modeladas y obtener visualizaciones dinámicas del ruido recibido. [24]

28. EL MODELO HNM (HELIPORT NOISE MODEL).

La F.A.A. es la responsable del desarrollo, mantenimiento y soporte de los modelos y herramientas de evaluación y predicción del ruido de aeronaves. La F.A.A., por lo general, promueve dos modelos primarios para la evaluación del impacto acústico de aeronaves: El modelo integrado de ruido INM, y el modelo de ruido de helipuertos HNM, el cual proporciona grandes capacidades de predicción de ruido, resultado de las operaciones de las alas rotatorias de aeronaves. [30]

HNM es un programa computacional para la evaluación del impacto acústico de helicópteros en las comunidades insertas en las inmediaciones de helipuertos. HNM está basado en el modelo de ruido integrado INM; la diferencia con el modelo INM es la gran habilidad de adaptación para complejas actividades de vuelo de helicópteros.

Este software, desde 1994 que no presenta actualizaciones. Al menos un usuario, fuera de los Estados Unidos ha informado que este sistema operativo basado en DOS no presenta grandes funciones. Tampoco hay funciones que recolecten datos de fuentes, esta es una capacidad de agregar nuevos helicópteros sin cambiar los códigos en el sistema. Por estas razones, la F.A.A. ha empezado una serie de proyectos para la actualización de la modelación tradicional del sistema. Esfuerzos anteriores, se focalizaron exclusivamente en acoplar el modelo HNM dentro del modelo INM a través de un programa para usuario de interfase gráfica de windows; esto no direccionó la estrategia del problema asociado, ya que el mantenimiento y actualización de los datos de fuentes no eran necesarios para la comunicación con la industria.

También, la F.A.A. requirió involucrar un gran cambio en el modelo HNM, debido al desarrollo del software Rotorcraft Noise Model (RNM) de la NASA. [30]

Por consiguiente, es necesario evaluar varios proyectos para la modelación en estudios medioambientales, como por ejemplo [30]:

- Integrar el modelo HNM o RNM dentro del software INM.
- Combinar las salidas de HNM o RNM con las salidas de INM.
- Convertir los datos de RNM para usarlos junto a HNM.
- Determinar los requerimientos de adquisición de datos para HNM y RNM.
- Promover normas para la modelación de ruido de helipuertos.

Así, el propósito de estos proyectos es realizar una revisión del modelo, desarrollando un plan de programa para empezar desarrollando soportes que provean de un modelo fijo totalmente integrado con grandes capacidades de modelamiento de alas rotatorias. [30]

29. EL MÉTODO DE ÁREA EQUIVALENTE (AEM).

El método de área equivalente AEM (*Area Equivalent Method*) es un procedimiento “*screening*” o de estimación de los niveles de ruido, usado para simplificar los pasos de valoración ambiental, determinando la necesidad de aumentar el análisis mediante el modelo INM como parte de las valoraciones y declaraciones de impacto ambientales y las regulaciones federales de aviación (F.A.R. parte 150). [29]

Nota: AEM está diseñado para operar con Microsoft® Windows® bajo el sistema Microsoft® Excel®, pero ésta, no es la instalación formal (ver figura 29). [29]

AEM es un procedimiento matemático que calcula el incremento en el área del contorno $L_{DN} = 65$ dBA a raíz del incremento de operaciones o del cambio de la distribución del tipo de aeronaves. Si el modelo AEM determina que el área del contorno $L_{DN} = 65$ dBA se incrementa en más de un 17%, respecto de la situación original, entonces el cambio podría provocar un nuevo uso de suelos no compatible significativo, y se requerirá entonces, la realización del mapa de contornos de ruido mediante el modelo INM. Un cambio en la operación del

aeropuerto crea un nuevo uso no compatible significativo, si dicho cambio resulta en un incremento en el valor de YL_{DN} de 1,5 dBA o mayor para un área que anteriormente era compatible, o en un área que había sido previamente determinada como no compatible pero que con el cambio o modificación de la capacidad aeroportuaria resulte en un incremento significativo de dicha área. [29]

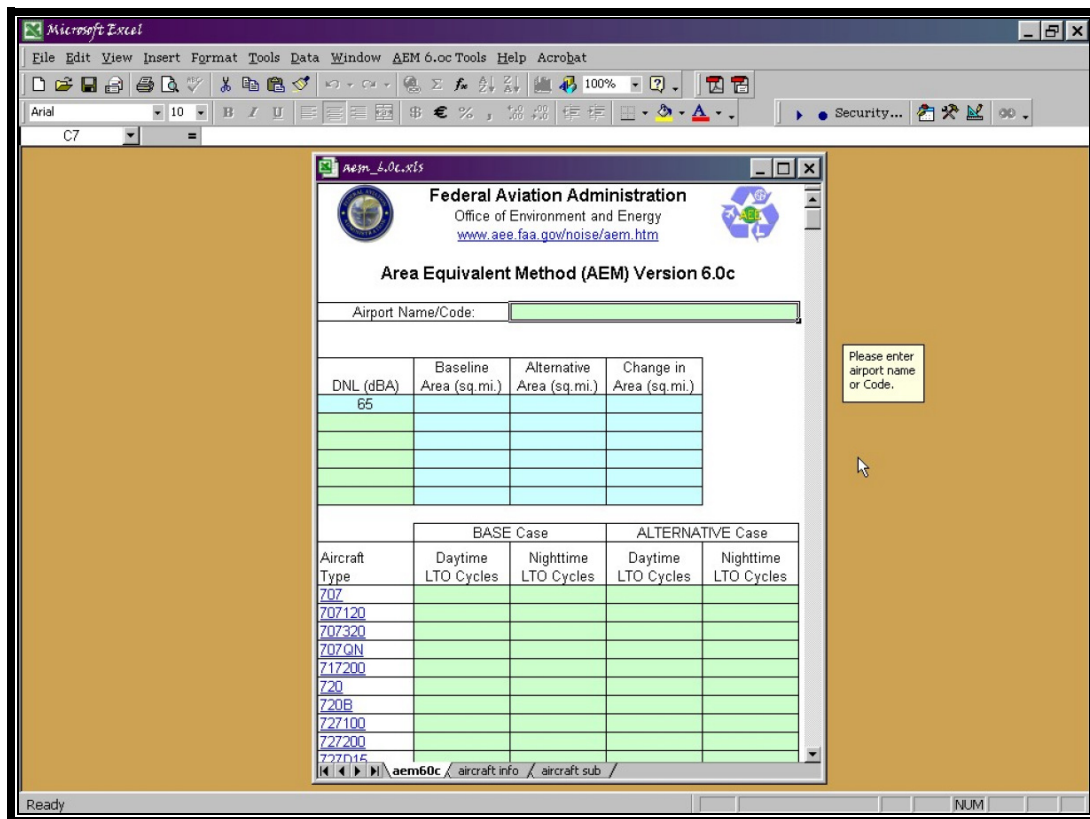


Figura 29. Ilustración del método de análisis con AEM utilizando Microsoft® Excel®.

Fuente: [29]

En los Estados Unidos, el comité F.I.C.O.N.¹ junto con las políticas y procedimientos de consideración de los impactos ambientales de la F.A.A., recomiendan el uso del modelo AEM como una herramienta “*screening*” que determina la necesidad de un análisis adicional del impacto acústico ambiental. [29]

¹ Federal Interagency Committee on Noise.

CAPÍTULO V: ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO DE AEROPUERTOS

30. ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO DE AEROPUERTOS EN CHILE.

Cuando se proyecta la construcción de un nuevo aeropuerto, éste, debe presentar un Estudio de Impacto Ambiental según el artículo 10° letra e) y artículo 11° de la ley 19.300 [6]. Dentro de una gama de requisitos ambientales, el titular del proyecto debe presentar un Estudio de Impacto Acústico del proyecto del nuevo aeropuerto.

En Chile, dentro de estos estudios, podemos mencionar los proyectos de nuevos aeropuertos de la III región en diciembre del año 2001 [9], y de la IV región en agosto del año 2003 [11]; el proyecto de construcción de una segunda pista en el aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) de Santiago en abril del año 2003 [10], y actualmente (enero 2006) el proyecto en etapa de calificación del nuevo aeropuerto para la IX región de la Araucanía [12].

30.1 SEGUNDA PISTA AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ (AMB).

Para este proyecto se realizó un detallado y completo estudio acústico¹ donde fueron aplicados los antecedentes necesarios para regulaciones de ruido, mediciones y monitoreo de ruido de tipo móvil y fijo capaces de modelar los contornos de exposición del ambiente sonoro para la etapa de operación del proyecto, así como las modelaciones de ruido para las etapas de construcción y etapas terrestres. Además, se contemplaron medidas de mitigación y planes de seguimiento ambiental.

30.1.1 PROCEDIMIENTOS PARA LAS MEDICIONES DE RUIDO.

Para minimizar el efecto del ruido de fondo, fueron establecidos algunos métodos. Primero, se determinó para cada punto el valor del ruido de fondo, verificando que el Nivel de Presión Sonora máximo $NPS_{máx}$ en dBA estuviera por lo menos 10 dBA por debajo del $NPS_{máx}$ del registro correspondiente al paso de aviones, para luego registrar el descriptor SEL en dBA lento.

¹ Estudio realizado por la empresa chilena *Ingeniería en CONTROL ACÚSTICO Ltda.*

Se instalaron seis estaciones de registro continuo (figura 30.1.1) de 24 horas con resolución de 1 minuto, donde se registraron los descriptores SEL , $NPS_{m\acute{a}x}$, $NPS_{m\acute{i}n}$, Leq y L_{DN} . Luego se cruzó la información con el itinerario de las operaciones aéreas registrado en la torre de control por los controladores del tráfico aéreo (ATC), donde se verificó las coincidencias con las horas punta.



Figura 30.1.1. Ejemplo de una de las estaciones de monitoreo continuo. Fuente: [10]

Para los puntos de medición se utilizaron los siguientes criterios:

- Puntos suficientemente alejados de fuentes fijas de ruido y el tránsito vehicular.
- Puntos que representen los sectores con mayor densidad de población y percepción del tráfico aéreo.
- Puntos ubicados en el sector marginal del área de influencia ($L_{DN} = 65$ dBA) definido con anterioridad por el método *screening* de la F.A.A. (nexo entre los modelos AEM e INM).
- Puntos que representen los mayores índices de ruido en su momento.
- Puntos en los futuros sectores potencialmente impactados.

Se efectuaron un total de 154 mediciones puntuales en 35 puntos de muestreo durante 3 días distintos de un mismo mes (junio 2003). El objetivo de éstas mediciones fue establecer los puntos para el monitoreo continuo y la posterior calibración del modelo INM.

En las mediciones de monitoreo continuo se clasificó como “ L_{DN} aeronave” a la dosis de exposición producida exclusivamente por las operaciones de despegue y aterrizaje, y “ L_{DN} residual” a la energía registrada en todo el periodo pero que no se relaciona con las operaciones de despegue y aterrizaje.

Punto	L_{DN} aeronave dBA	L_{DN} residual dBA
1	83,1	71,3
2	72,2	59,1
3	60,8	57,3
4	58,1	59,4
5	52,1	52,2
6	62,1	58,4

Tabla 30.1.1. Valores de L_{DN} residual y del aporte exclusivo de la circulación de aeronaves. Fuente [10]

En este estudio también fueron detallados la distribución de los eventos y el valor de nivel de exposición sonora SEL por eventos aislados.

30.1.2 MODELACIÓN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y ACTIVIDADES TERRESTRES.

Para la etapa de construcción se efectuaron evaluaciones de los niveles de presión sonora generados por la construcción de la segunda pista del aeropuerto. Algunas de las actividades y acciones a seguir en la etapa de construcción son:

- Instalación de faenas: Instalación de oficinas, bodegas y talleres; almacenamiento de materiales; condiciones sanitarias.
- Preparación del área de trabajo: Demoliciones y remociones de pavimentos y estructuras existentes.
- Movimientos de tierras: Excavaciones; estabilización de suelos; Formación y compactación de terraplenes; relleno estructural.

- Movimientos de vehículos y maquinarias: Operación de maquinaria; operación de camiones.

Como referencia se estipularon las emisiones de uso común, y aceptadas por la Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA¹) para estaciones de trabajo ubicadas a 15 [m] del punto de emisión, como se indican en la tabla 30.1.2:

Maquinarias	NPS en dBA
Cargador frontal	75 – 85
Retroexcavadora	75 – 90
Motoniveladoras	80 – 90
Camiones tolva	75 – 85
Generadores	75 – 80
Compresores	75 – 85

Tabla 30.1.2. Niveles de ruido aceptados por la EPA para distintas maquinarias a 15 [m]. Fuente: [10]

Luego, considerando que los movimientos de tierra generarán los máximos niveles de ruido y considerando la atenuación por divergencia geométrica en campo libre, se tuvo la situación más desfavorable. Así, se pudo modelar un mapa de ruido con *Leq* de 10 minutos para las actividades de construcción como se indica en la figura 30.1.2:

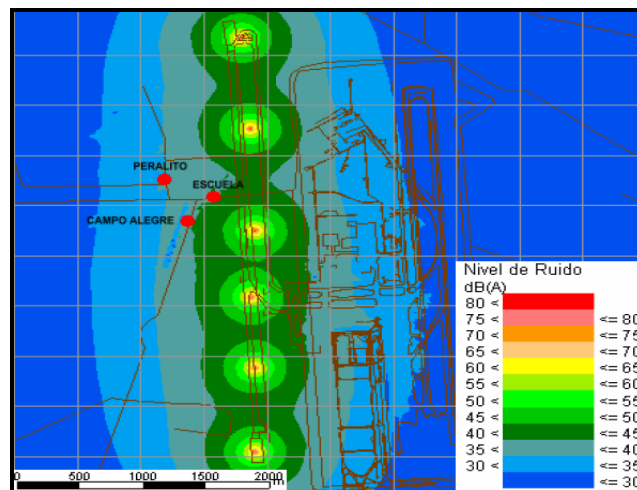


Figura 30.1.2. Modelación etapa de construcción segunda pista AMB en la condición más desfavorable.

Fuente: [10]

¹ U.S. Environmental Protection Agency.

30.1.2.1 MODELACIÓN DE RUIDO EN PRUEBA DE MOTORES RUN-UP.

Debido a que estas pruebas no se contemplaban en el proyecto (sólo en la pista actual), se consideró como parte del escenario base, del estudio de impacto acústico, para luego, evaluar su posible impacto acústico-ambiental.

Se realizó la modelación del ruido en la operación *run-up* de un avión Boeing 737-200 obteniendo el siguiente resultado:

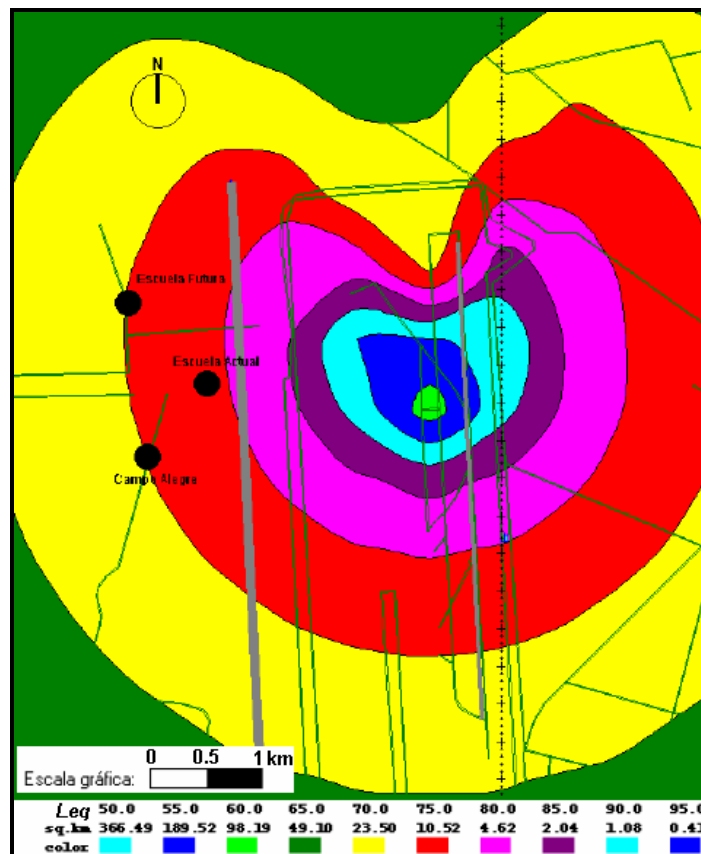


Figura 30.1.2.1 Modelación de prueba de motores *run-up* en aeropuerto AMB. Fuente: [10]

Las curvas de ruido se obtuvieron mediante una medición in-situ a 400 [m] de una aeronave de carga Boeing 767-300 (más ruidosa) y luego proyectando los niveles a través de software de modelación acústica. Se utilizaron mediciones de *Leq* con 10 minutos de promediación, obteniendo niveles proyectados de 75 dBA a 1,5 [km].

30.1.3 MODELACIÓN PARA ETAPA DE OPERACIÓN DEL PROYECTO.

Como ya se ha mencionado, la modelación para el ruido de un aeropuerto se hace prácticamente imposible a través de campañas de medición, debido a lo extensas que serían éstas para que sean consideradas como representativas, además de las condiciones meteorológicas, ruidos externos, etc. Es así, como en este estudio, se consideró una metodología que cubre todos estos factores para la realización de los contornos de exposición sonora de la nueva pista, proyectados (los contornos) al escenario actual (2003), escenarios 2005–2006, escenario 2009 y el escenario 2020, debido a los cambios que se producirán en el futuro en la utilización de pistas y por aeronaves de mejor tecnología silenciosa.

30.1.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE RUIDO AÉREO.

El procedimiento para la elaboración de los contornos de ruido (NEMs) se realizó de acuerdo a la F.A.R. parte 150 [2] con la utilización del programa computacional INM [44]. Los datos continuos de tráfico aéreo para la modelación fueron suministrados por la DGAC (*Dirección General de Aeronáutica Civil*), donde se detallan flotas, rutas y horarios, para luego determinar el índice de mezcla y tránsito aéreo por ruta para determinados flujos.

30.1.5 VALIDACIÓN DEL MODELO.

La tabla 30.1.5 muestra el descriptor L_{DN} del modelo INM para el periodo de las mediciones de monitoreo continuo:

Punto	L_{DN} aeronave dBA	L_{DN} residual dBA	L_{DN} aeronave (INM) dBA
1	83,1	71,3	82,1
2	72,2	59,1	68,7
3	60,8	57,3	62,3
4	58,1	59,4	56,1
5	52,1	52,2	50,5
6	62,1	58,4	62,5

Tabla 30.1.5. Validación del modelo INM. Fuente: [10]

La validación del modelo responde a la única condición de manejo de las variables de temperatura media de 10° C y una presión de 29 pulg. de Hg. [10]

30.1.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.

Los resultados de la simulación son proyectados con el nivel sonoro corregido día noche anual $Y_{L_{DN}}$ para los años ya mencionados, como se indica en la siguiente gráfica:

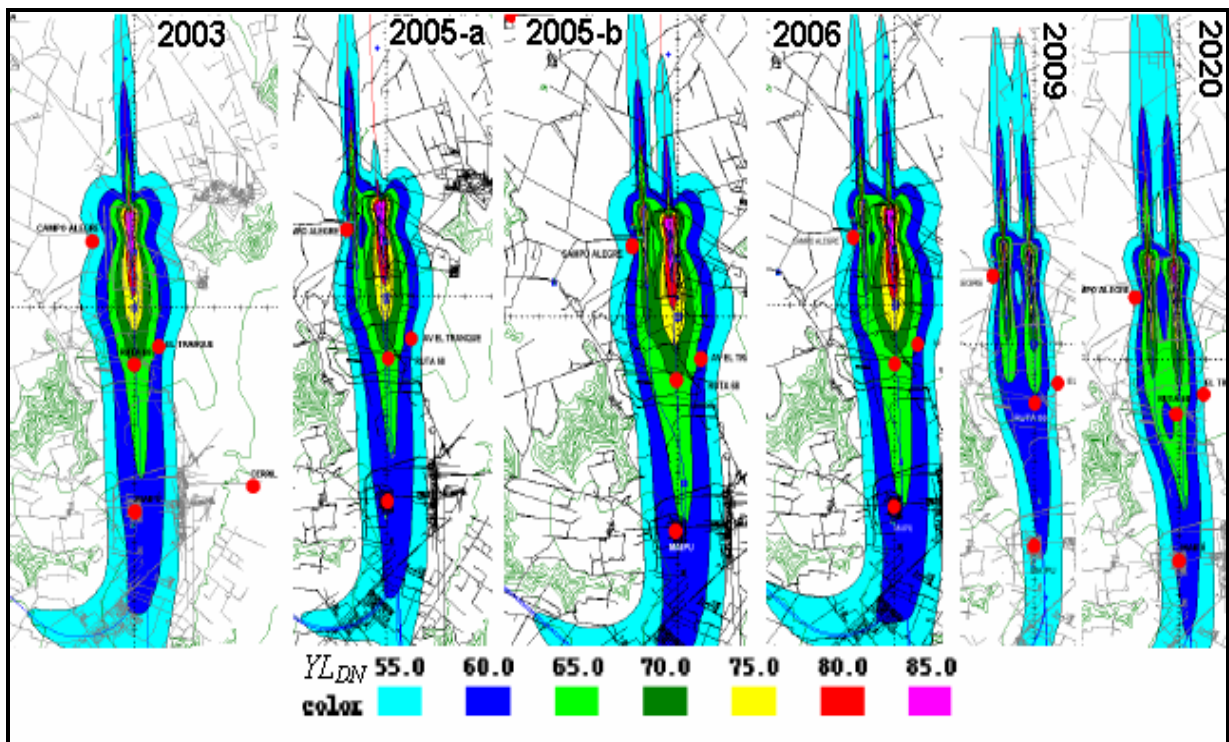


Figura 30.1.6. Modelación de los 6 escenarios proyectados entre los años 2003 y 2020 en aeropuerto AMB.

Fuente: Elaboración propia en base a [10]

Se determina el escenario medio anual para el año 2003 a partir del flujo (operaciones aéreas) registrado desde enero a junio del mismo año y aplicando una tasa de crecimiento de 6,7% respecto al mismo periodo del año 2002. [10]

Para el año 2005-a se consideraron tres meses de operaciones en la segunda pista de las aeronaves etapa dos y tres (etapas análogas a Cap. 2 y 3 OACI [3]); y para el resto del año

(2005-b) se consideró que la segunda pista sólo será utilizada para operaciones de aterrizaje de cualquier aeronave.

Se considera que para el año 2006 la segunda pista se utilizará para aterrizajes de cualquier aeronave y despegues de aeronaves etapa tres. La pista actual se utilizará de igual manera pero sólo para despegues de aeronaves etapa dos.

En el escenario 2009 se espera el retiro de las aeronaves etapa 2. (Boeing 737-200 que no certifiquen etapa 3).

El escenario 2020 mantiene la flota 2009, debido a la falta de antecedentes, ya que resulta difícil estimar la variación de la composición de la flota y tecnologías existentes. [10]

30.1.7 EVALUACIÓN PARA FUENTES FIJAS.

Como medida base para las posibles medidas de mitigación en torno al proyecto se utilizó el D.S. N° 146/97 MINSEGPRES [4]. Según el plan regulador metropolitano de Santiago la zona es considerada de interés silvo-agropecuario, esto implica que debe considerarse lo que estipule el D.S. N° 146/97 para áreas rurales.

Si se analiza el impacto acústico de las actividades de construcción del proyecto, se observa que los sectores de uso residencial más cercanos a las faenas de construcción de mayor duración, el ambiente sonoro no es modificado. Para minimizar los problemas de ruido, se consideró que los trabajos sólo se realizarán en horario diurno, a menos que las actividades se ubiquen a más de 300 [m] de cualquier vivienda.

30.1.8 EVALUACIÓN PARA LA ETAPA DE OPERACIÓN.

La evaluación se efectúa según la normativa F.A.R. parte 150, utilizando los criterios que limitan la compatibilidad con los distintos usos de suelos, utilizando el nivel sonoro corregido día noche anual YL_{DN} producido por el ruido aeronáutico, tomando en consideración la utilización de la segunda pista a partir del año 2005.

30.1.9 MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

La envergadura de la obra y la cantidad de elementos y maquinaria pesada obligaron a analizar el problema tomando como referencia experiencias y criterios internacionales, flexibilizando así la interpretación del D.S. N° 146/97, de modo de utilizar medidas de mitigación realmente aplicables a este tipo de obras; algunos de los criterios hacen referencia a:

- Ubicación de las faenas.
- Nivel de ruido ambiental existente.
- Duración de las operaciones.
- Actitud de los operadores en el sitio de faena.

30.1.10 PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL.

Se recomendó un plan de monitoreo anual para el periodo de operación, el cual se debiera centrar en los sectores más impactados del estudio. El registro sería a través de monitoreos continuos temporales durante un periodo de una semana, con registros en intervalos de un minuto. Los registros deben ser Leq , $NPS_{máx}$, NPS_{min} y SEL expresados en dBA lento.

En forma paralela, se consideró acompañar un registro detallado con las operaciones, modelo del avión, ruta utilizada y el valor L_{DN} diario, junto con las condiciones meteorológicas existentes en el periodo de los muestreos.

También, se recomendó la instalación de 2 estaciones de monitoreo permanente para que a partir de estas mediciones, más los monitoreos continuos temporales, se hagan los correspondientes ajustes al YL_{DN} , realizando esta metodología cada un año y utilizando algún modelo aprobado por la F.A.A. por medio de la F.A.R. parte 150, como es el caso del modelo integrado INM.

30.2 OTROS AEROPUERTOS EN CHILE.

En los estudios de ruido, para los proyectos de nuevos aeropuertos de las regiones III, IV y IX, la metodología empleada es similar al caso anterior, la diferencia radica en la envergadura de los proyectos.

30.2.1 PROYECTO NUEVO AEROPUERTO IV REGIÓN.

Si tomamos el caso del Estudio de Impacto Ambiental [11] del proyecto de aeropuerto de la IV región, observamos que el análisis del Impacto Acústico se efectuó en función de cuatro bloques de información:

- Datos de tráfico.
- Información sobre las formas de operar en el aeropuerto (Rutas de aproximación).
- Datos sobre ruido y comportamiento de las aeronaves (Tipos de aviones).
- Consideraciones computacionales en el cálculo.

Los datos de tráfico incluyen toda la información sobre las aeronaves que operan en el periodo al que se referencia el estudio, distribuyendo este tráfico, en función de las trayectorias utilizadas para las operaciones de aterrizaje y despegue de todas las aeronaves, distribución mensual, y su distribución en periodos del día (día – noche). Para este caso, se estimó una operación inicial de 5 aviones diarios, y 1 nocturno. [11]

Respecto de las operaciones en el aeropuerto y rutas de aproximación, fue preciso conocer la distribución de cada tipo de tráfico en las pistas y trayectorias de aterrizaje y despegue, definiendo las operaciones para cada tipo de aeronave, así como también, las limitaciones existentes en el aeropuerto. De esta forma, se detallaron las rutas de aproximación y salida del nuevo aeropuerto. [11]

La información de los datos de ruido y comportamiento de las aeronaves, se obtuvo a través de la certificación U.S. F.A.R. 36 de la U.S. F.A.A. En base a toda esta información se obtuvieron los niveles sonoros originados en el entorno del aeropuerto y rutas de

aproximación. Los niveles de inmisión en cada punto se obtuvieron por la adición de la energía sonora que recibe cada punto debido al conjunto de operaciones que tienen lugar en el aeropuerto, además de los niveles máximos en dBA. [11]

A través de software de simulación, se proyectaron los niveles (NPS y L_{DN}) máximos en dBA para las rutas de aproximación y salida del proyecto aeroportuario.

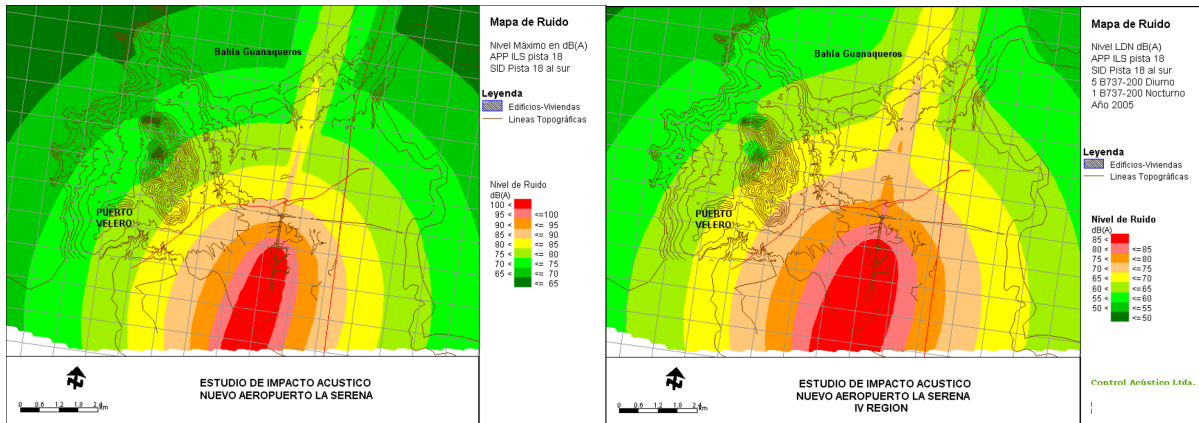


Figura 30.2.1. Mapas acústicos de los $NPS_{m\acute{a}x}$ y L_{DN} esperados en rutas de aproximación y despegue.

Fuente: [11]

Según el EIA, para la etapa de operación, se considerará como fuente fija el terminal aéreo, que por sí solo (sin movimientos) no generará niveles de ruido considerables para receptores ubicados a más de 4 [km]. Sin embargo, para las rutas de aproximación ya modeladas, se contemplaron elevados niveles de ruido, sobre todo bajo la trayectoria de estas. [11]

30.2.2 PROYECTO NUEVO AEROPUERTO IX REGIÓN.

En el EIA del nuevo aeropuerto de la IX región [12], se prevé un aumento de los niveles de ruido de fondo, dado que se trata de una zona rural o semi-rural. Para cuantificar este impacto, se realizaron mediciones de niveles de ruido (NPS) en el sector – situación sin proyecto – y se modeló la futura situación acústica del lugar.

Se eligieron 16 puntos móviles de medición de ruido (NPS) en el entorno del área de influencia del proyecto (área determinada a partir de un modelo *screening* realizado para el

proyecto). Las mediciones se realizaron durante 3 días de un mismo mes (1, 2 y 3 de marzo del 2005), empleando sonómetros Tipo 2, conformes a la Comisión Electrotécnica Internacional IEC.

Es importante mencionar acerca de la buena elección de los puntos de monitoreo, ya que en este estudio, no fue posible realizar una medición correspondiente al periodo nocturno debido a contratiempos con el permiso de acceso al lugar de medición, el cual correspondía a una propiedad privada.

Además, se estimó la actual emisión sonora del Aeropuerto *Maquehue* de Temuco (capital de la IX región), utilizando el Modelo de Ruido Integrado INM [44], para así, proyectar tales niveles en el sector de la pista del nuevo aeropuerto. Esta metodología permitió definir el área de influencia, y para fases posteriores, estimar el impacto a generarse debido a su funcionamiento. [12]



Figura 30.2.2. Vista aérea Aeropuerto *Maquehue* de Temuco. Fuente: [48]

La razón de este EIA, se basa en el reemplazo del actual Aeropuerto *Maquehue*, el que por sus condiciones de emplazamiento (Figura 30.2.2) y por las restricciones operativas que ellas imponen, no puede ser mejorado ni ampliado. [12]

La compatibilidad de los niveles con la regulación F.A.R. parte 150 se consideró admisible para actividades residenciales.

Por otra parte, la evaluación, determinó impactos de baja jerarquía, relacionados con las faenas de construcción del proyecto.

Impacto Potencial	Componente	Actividad	T	Im	Du	De	Ex	Re	Po	CA	Je
Construcción											
Aumento impacto acústico	Ruido	Movimiento de tierra	-1	0,1	0,4	0,7	0,2	0,1	9	-3	B
		Construcción acceso y caminos internos	-1	0,1	0,3	0,5	0,2	0,1	9	-2	B
		Construcción pista y edificaciones	-1	0,1	0,3	0,5	0,2	0,1	9	-2	B
		Movimiento maquinaria y vehículos	-1	0,1	0,4	0,7	0,2	0,1	9	-3	B
Operación											
Aumento impacto acústico	Ruido	Movimiento de aeronaves	-1	0,8	1	0,8	0,7	0,2	6	-4	M
		Movimiento de vehículos	-1	0,3	1	0,6	0,3	0,2	7	-3	B
Abandono											
No aplica											

T = tipo impacto (+/-)
 Im = importancia
 Du = duración
 De = desarrollo
 Ex = extensión
 Re = reversibilidad
 Po = Probabilidad de ocurrencia

Clasificación amb. (CA):
 Alto = 8 - 10
 Medio = 4 - 7
 Bajo = 1 - 3

Jerarquización (Je):
 Alto (+)
 Medio (+)
 Bajo (+)
 Alto (-)
 Medio (-)
 Bajo (-)

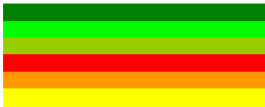


Figura 30.2.2.1 Matriz de Evaluación de Impactos: Ruido. Fuente: [12]

Luego de definir la característica acústica actual del área de influencia del proyecto, se concluyó que la construcción y operación del nuevo aeropuerto, representa un Impacto Bajo y Medio, respectivamente en el sector, cumpliendo con los máximos permitidos según la normativa aplicable y de referencia.

30.2.3 COMPARACIONES Y OBSERVACIONES.

Ahora si comparamos la envergadura de estos proyectos [10][11][12], es decir, longitud de pistas y cantidad de operaciones aéreas, encontramos que la segunda pista del aeropuerto AMB contempla un largo de 3800 [m], la pista del nuevo aeropuerto de la IV región un largo de 2200 [m], con máxima posibilidad de alargamiento de 3200 [m], y la pista del nuevo aeropuerto IX región con 2440 [m], con máxima posibilidad de alargamiento de 3200 [m].

Otra diferencia son el tipo de aeronaves a utilizar y el número de operaciones aéreas, por ejemplo, a diferencia del aeropuerto AMB, en los demás aeropuertos harán operaciones aeronaves jet de tamaño reducido, del tipo A-320 o A-319, donde es muy poco probable que aterricen aeronaves mayores como los B-767, B-747, A-340 u otras, ya que ellas están diseñadas para vuelos de largo alcance y gran número de pasajeros. AMB tiene un alto promedio de vuelos (≈ 100) aéreos diarios [46], en cambio los demás aeropuertos regionales consideran una estimación del flujo aéreo diario de 5 a 15 vuelos diarios. [11][12]

Respecto de la presentación de los proyectos al SEIA, se observaron interpretaciones inapropiadas del estudio de impacto acústico por parte del titular o empresas consultoras. Es así como en algunos EIA se hizo difícil la comprensión del desarrollo técnico-explicativo empleado.

Estos problemas, estaban relacionados con las interpretaciones de normas o reglamentos, generalmente, mezclando índices de evaluación de una norma u otra.

31. ESTUDIOS DE IMPACTO ACÚSTICO EN AEROPUERTOS EUROPEOS.

Son muchos los aeropuertos internacionales que hoy en día han tenido que promover programas de control de ruido en países europeos. *Ámsterdam, Orly, Mónaco, Zurich, Frankfurt, Copenhagen, Barajas, Zaragoza, Heathrow*, etc., tienen problemas de impacto acústico. El ruido producido por las aeronaves es quizás el factor más importante en la planificación de uso de suelos que se encuentran en las cercanías de los aeropuertos.

Nuevas Directivas de la U.E. han obligado al desarrollo de modelos que permitan evaluar la aplicación y efectividad de éstas, donde se ha revelado que el número de personas expuestas al ruido de aeronaves crecerá en los próximos 10 años si no se toman medidas adicionales. [27]

31.1 MAPA DE RUIDO DEL AEROPUERTO DE ZARAGOZA – ESPAÑA.

En el año 1997 se llevó a cabo la realización del mapa de ruido del aeropuerto de Zaragoza [14] en España. Para tales efectos se consideró una metodología la cual toma en cuenta que no todas las aeronaves ni operaciones producen el mismo nivel de ruido.

En este estudio se utilizó en común acuerdo entre la empresa consultora y el Servicio de Medio Ambiente Español, como índice sonoro, el *Noise Exposure Forecast (NEF)* ya que había sido utilizado con frecuencia en los Estados Unidos, y se considera como el sistema más adecuado para el estudio del aeropuerto de Zaragoza y su entorno.

Podemos recordar que el índice *NEF* clasifica las diferentes aeronaves en diversas categorías con similares características acústicas, definiéndose para cada una de ellas las curvas L_{EPN} en función de la distancia, aterrizaje y despegue.

El modelo computacional seleccionado para este estudio fue el Modelo de Ruido Integrado INM, dado a que ha sido ampliamente utilizado por muchos países y por la facilidad de acceso a datos que de otra forma son difíciles de obtener.

En síntesis, para éste aeropuerto se simuló el funcionamiento de acuerdo a cuatro configuraciones de uso diferente, dos correspondientes al horizonte actual (1997) y las

restantes al horizonte (2007), donde fue simulado el funcionamiento civil como el militar. La finalidad de esta simulación fue la recopilación de datos acerca del impacto sonoro generado por el normal funcionamiento del aeropuerto para establecer un plan de planificación del uso de suelos en sus proximidades, tanto en la actualidad como para los siguientes años.

El aeropuerto de Zaragoza consta con una pista de 3718 [m] para despegues y otra de 3000 [m] para aterrizajes. Se incluyó la configuración de las trayectorias y las hipótesis de tráfico civil y militar para ambos horizontes.

Se consideraron ocho posiciones de monitoreo, donde los niveles equivalentes Leq de día y de noche no fueron superados (tomando en consideración los criterios recomendados por la O.C.D.E.¹, 65 dBA periodo diurno y 55 dBA periodo nocturno). [14]

Así, teniendo en cuenta el índice NEF y sus criterios, y las mediciones realizadas, se obtuvo el mapa de ruido con el modelo de ruido integrado INM (figura 31.1) para el horizonte 2007.

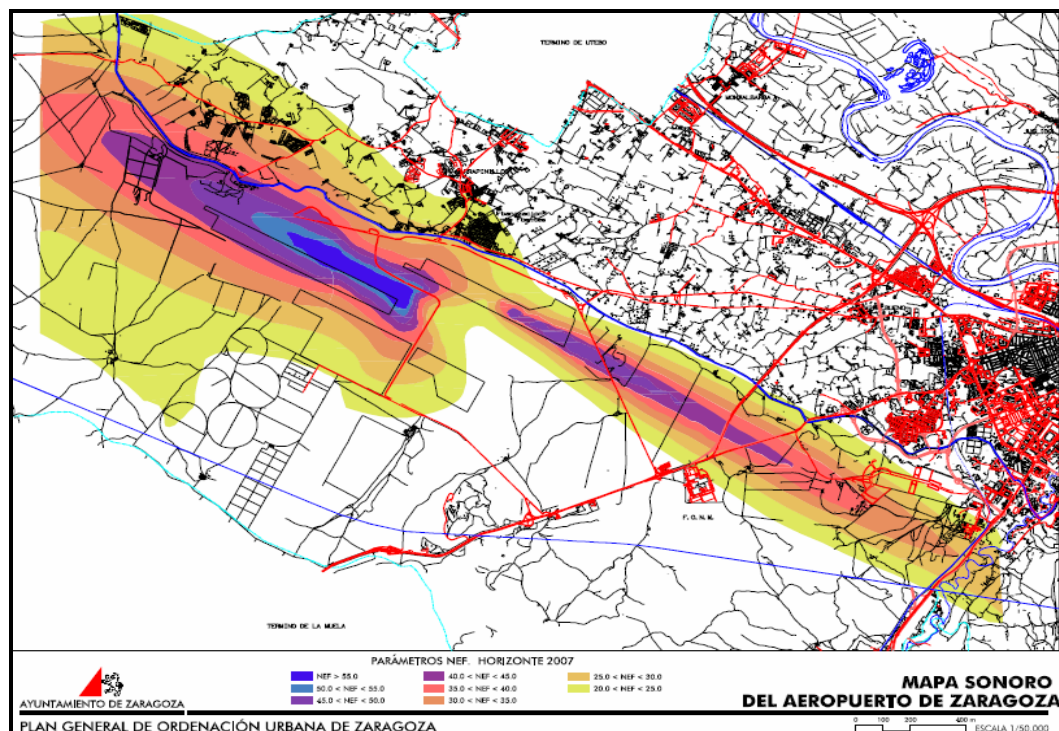


Figura 31.1. Mapa de ruido aeropuerto de Zaragoza, horizonte 2007. Fuente: [14]

¹ Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.

31.2 ESTUDIO REALIZADO EN 51 AEROPUERTOS EUROPEOS.

En el año 2002 la U.E. aprobó mediante la Directiva 2002/30/EC¹ el establecimiento de normas y procedimientos para la introducción de restricciones operativas relacionadas con el ruido en aeropuertos comunitarios. [27]

Se determinó que para probar la efectividad de la Directiva se debía utilizar un único software armonizado en 51 aeropuertos europeos. Un único software para todos los aeropuertos y escenarios garantizaría la consistencia de los datos. La posibilidad de comparar el conjunto de datos armonizados permitiría una determinación exacta de las tendencias, tanto a nivel de aeropuertos como de la comunidad. Es así como se desarrolló para este estudio el modelo SONDEO, el cual tiene las bases de datos de ruido y acciones de INM, debido a que es una de las pocas bases de datos disponibles aceptadas de carácter público.

Se encontró que los 51 aeropuertos manejan casi el 85% de los vuelos a reacción programados por la U.E. Se incluyó la información detallada de los movimientos de vuelo, incluyendo tipos de aeronaves, y los datos de población fueron tomados del censo más reciente. Además se estableció una matriz de evolución para aeronaves.

31.2.1 SITUACIÓN DE RUIDO DE REFERENCIA.

Se consideraron distintos escenarios de crecimiento, puesto que la situación de ruido de referencia alrededor de aeropuertos está directamente relacionada con el número de movimientos en los aeropuertos [27]. Luego los escenarios estimados fueron para los años 2002, 2007 y 2015.

31.2.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.

- Si no se tomaran medidas adicionales, la situación de ruido a nivel de comunidad se deterioraría a corto plazo (2007) y a largo plazo (2015).

¹ Directive 2002/30/EC of 26 March 2002, on the establishment of rules of procedures with regard to the introduction of noise-related operating restrictions at community airports.

- Ninguna acción práctica tomada de manera aislada podrá garantizar un clima de ruido estable en el futuro.
- Cualquier acción tomada debería ir acompañada de medidas complementarias para crear un margen suficiente para aceptar la creciente exposición al ruido debido al crecimiento del tráfico.
- Cualquiera que sea la acción tomada, la gestión de uso de suelos tendrá que ser introducida para evitar la invasión, donde los beneficios de menores niveles de ruido son anulados por la invasión de población dentro de áreas donde la situación de ruido había sido mejorada.
- La limitación o prohibición de los vuelos nocturnos muestra una gran efectividad en reducir la población afectada, sin embargo, el costo de esta medida sería inaceptable para las aerolíneas.
- Las medidas para las que la situación de ruido mejoraría incluso a largo plazo, son consideradas una aplicación teórica (por ejemplo, la restricción total de vuelos nocturnos en la U.E.). En la práctica, su implantación necesitaría de una cuidadosa consideración de las restricciones económicas o limitaciones legales actuales.

31.3 MODELACIÓN DEL RUIDO DE AERONAVES EN EL REINO UNIDO.

El Departamento Ambiental de Consultoría e Investigación (ERCD¹) de la Autoridad de Aviación Civil (CAA²) del Reino Unido utiliza el modelo ANCON³ para la modelación del ruido de aeronaves en sus aeropuertos. Los contornos de exposición de ruido de aeronaves están basados en los días de verano, con una recolección de datos sobre los 92 días. Los días de verano son escogidos, debido a que es la fecha con mayor demanda aeroportuaria, lo que implica un intenso tráfico aéreo. [23]

En la mayoría de los aeropuertos del Reino Unido se utiliza el sistema NTK⁴ tomado de los datos de radar desde los radares de tráfico de control aéreo y combinado con la información de vuelo, como número, destino y tipo de avión. En los aeropuertos de Londres, el sistema NTK

¹ Environmental Research and Consultancy Department.

² Civil Aviation Authority.

³ Aircraft Noise Contour Model.

⁴ Noise and Track Keeping.

captura datos de monitoreo de ruido fijos y móviles alrededor de cada aeropuerto, para ser complementados con los datos operacionales. Esta información queda almacenada en el banco de datos del modelo de ruido. [23]

31.3.1 SISTEMA NTK Y MEDICIONES DE RUIDO.

El sistema NTK fue instalado entre los años 1992 y 1993. Comprende 10 estaciones fijas de monitoreo de ruido en el aeropuerto de *Heathrow*, cinco en el aeropuerto de *Gatwick* y ocho en el aeropuerto de *Stansted*. Estos datos son enviados a las estaciones de operaciones del NTK de cada aeropuerto a través de líneas telefónicas estándar, y son registrados automáticamente cada 24 horas. Las estaciones fijas de monitoreo son ubicadas y operadas aproximadamente a 6,5 [km] de las posiciones de partida. [23]

Además de las estaciones fijas de monitoreo, existen aproximadamente 25 estaciones de monitoreo móvil que están repartidas entre los tres aeropuertos.

31.3.2 VALIDACIÓN DEL MODELO.

Para validar el modelo, el ERCD despliega entre cuatro a seis estaciones de monitoreo móvil de ruido en cada aeropuerto para complementar a las estaciones fijas de monitoreo de ruido. El ERCD obtiene estos datos desde los sistemas NTK de los aeropuertos a través de su propia estación de trabajo a la CAA. El terminal NTK de la CAA es conectado a los terminales de *Heathrow*, *Gatwick* y *Stansted* a través de conexiones de alta velocidad.

Cuando una nueva localización de monitoreo ha sido identificada, el sitio es inspeccionado utilizando tecnología GPS, para así, obtener esta posición con 10 [m] de exactitud o mejor. Una vez instalada, la estación de monitoreo de ruido requerirá semanalmente ser inspeccionada para el cambio de baterías y descargar los datos almacenados hacia un PC portátil. No obstante, la adquisición de varios paneles solares requerirá que ciertos sitios puedan ser visitados esporádicamente si es que es requerido. Conexiones de telefonía celular pueden ser utilizadas para zonas con acceso restringido.

Finalmente, para la correcta validación del modelo, se asegura que el set de datos finales contenga mediciones de ruido de alta calidad, donde los datos NTK del radar son procesados para luego calcular, mediante software, la distancia de inclinación de cada vuelo (distancia mínima DCP), y el ángulo de elevación (β) entre la ruta de radar y cada monitoreo de ruido (figura 31.3.1). Para minimizar los efectos de la atenuación lateral, las mediciones obtenidas con ángulos de elevación menores a 60 grados serán descartadas. Las medidas restantes son ajustadas para las variaciones en la distancia de inclinación usando relaciones NPD. [23]

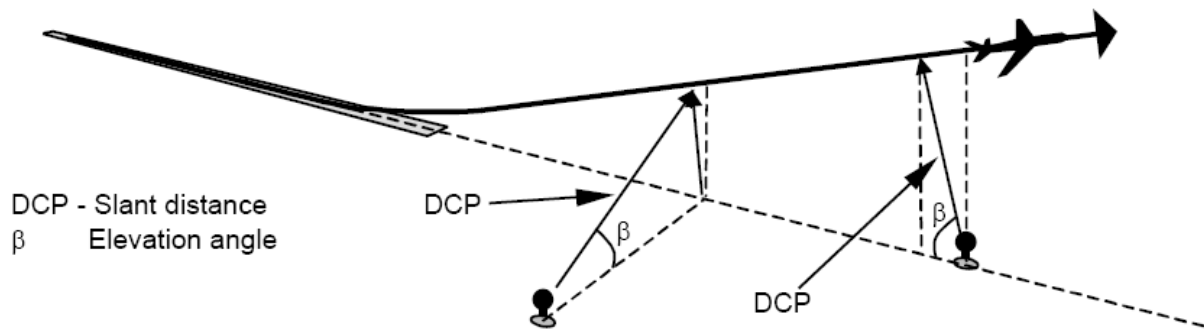


Figura 31.3.1. Esquema para la determinación del ángulo de elevación y la distancia de inclinación.

Fuente: [23]

Nota: En la actualidad se encuentra en etapa de construcción el *Heathrow Airport Terminal 5 (T5)* de Londres, el cual se espera que esté operativo en primera fase en abril del 2008, y en segunda fase y final en el año 2011. [50]

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO

32. INTRODUCCIÓN.

Como se ha visto en los capítulos anteriores, el tema del ruido de las aeronaves no es un problema menor, y los procedimientos de control y evaluación de éste, pasan por rigurosas y complicadas metodologías. La evaluación del impacto acústico generado por el ruido de las aeronaves en las proximidades de los aeropuertos, cuando se planifica la construcción de un nuevo aeropuerto o la remodelación de éste, ya es una realidad en Chile.

Estas Recomendaciones fueron desarrolladas para brindar una mejor información acerca del tema, y proveer los antecedentes necesarios para su correcta interpretación y evaluación.

33. PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO.

En primer lugar, se considera que las predicciones de los niveles de ruido deberán tomar en cuenta los requisitos estipulados en el capítulo II del presente estudio, es decir, señalar los niveles de ruido esperados en lugares sensibles al proyecto. Además, deben hacerse a partir de un modelo de cálculo, o bien, a partir de mediciones reales y en las condiciones más desfavorables, para así poder asegurar el cumplimiento de las normas en todo momento.

33.1 ELECCIÓN DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN ACÚSTICA.

Como se observó en el capítulo IV, existen distintos programas computacionales capaces de modelar los niveles de ruido de aeronaves. El modelo ideal para el caso de Estudios de Impacto Acústico de aeronaves es el Modelo de Ruido Integrado INM debido a su carácter predictivo. Además, muchos países y organizaciones del mundo han adaptado la base de datos de INM a sus propios modelos, o simplemente, se utiliza directamente el modelo, ya que INM cuenta con la caracterización técnica de casi la totalidad de las aeronaves comerciales, es decir, cuenta con datos de homologación de ruido de la U.S. F.A.R. parte 36 (análogos al proceso de homologación del Anexo 16 de la OACI). La utilización de programas

computacionales más sofisticados, puede dejarse para la inspección del ambiente sonoro en mediciones de días puntuales o para refinamiento de datos.

33.2 CONSIDERACIONES EN LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE.

A la hora de utilizar un programa computacional de modelación acústica, se deben tener en cuenta los métodos de cálculo en los cuales está basado dicho modelo. Por ejemplo, el modelo INM no entrega valores de los niveles sonoros exactos, sino que realiza estimaciones a largo plazo (promediaciones) de los niveles generados, basándose en los métodos de cálculo de normas SAE.

Si tomamos casos de modelación para pruebas de motores *run-up* en aeropuertos, donde se proyecten niveles con poca representatividad, es decir, con alguna medición puntual, y obteniendo espectros sonoros simétricos, lo cual es aceptable para terrenos lisos y variables ambientales casi nulas, se obtendrían falsos niveles para determinadas situaciones, como por ejemplo, la reubicación de edificaciones (escuelas, centros hospitalarios, etc.). Estas edificaciones podrían estar expuestas a altos niveles según las proyecciones computacionales. Para estos casos, se deberá elegir la mejor opción de modelación del impacto acústico, ya sea mediante una cantidad considerable de mediciones en terreno (para una correcta validación) y utilizando modelos computacionales capaces de cubrir todas las variables ya mencionadas.

Ahora, estas edificaciones podrían quedar ubicadas en zonas de bajo nivel de ruido (también podría ocurrir el caso contrario) y no sería necesaria su reubicación, es decir, habría una reducción en los costos del proyecto debido a la posibilidad de mantener la estructura en su ubicación original, y a lo mejor solo bastarían algunas técnicas de control de ruido para minimizar aún más el ambiente sonoro si fuese necesario.

En definitiva, para una adecuada utilización del software, y para brindar una mayor o menor validez a una modelación de prueba de motores *run-up*, se considera modelar la aeronave más ruidosa (condiciones más desfavorables) realizando suficientes mediciones representativas en diferentes puntos, y luego realizar la calibración con el modelo computacional.

33.2.1 ATENUACIÓN LATERAL DE INM.

Diversos estudios [28][39] han puesto en manifiesto el evidente problema de atenuación lateral que presenta el modelo de ruido integrado INM y la necesidad de realizar medidas experimentales que ayuden a ajustar el modelo informático cuando se realizan estudios de impacto acústico.

Cuando se realiza un estudio de impacto acústico, el principal objetivo de éste, es cuantificar las áreas que serán expuestas a determinados niveles. Como se observó en el capítulo III, la U.S. F.A.R. parte 150 se basa en un horizonte planeado de 5 años, con condiciones medias anuales usando como medida el nivel sonoro corregido día-noche anual YL_{DN} , es decir, no se recomienda realizar la evaluación de impacto acústico con mediciones puntuales en días puntuales, ya que éstas, son representativas de las condiciones dadas en el momento y lugar de las mediciones. Para realizar estos estudios es necesario contar con las herramientas adecuadas, las cuales deberán estar bien calibradas. Sin una buena validación se podrían conseguir resultados elevadamente erróneos, obteniendo modelaciones de escenarios alejados de la realidad.

33.2.2 VALIDACIÓN DEL MODELO.

Si nos basamos en la metodología para la validación de medidas experimentales de ruido de aeronaves mediante el programa INM, según [28], para validar experimentalmente el modelo, se considera escoger puntos simultáneos de mediciones de ruido acordes a las trayectorias de despegue de las aeronaves, en un aeropuerto de condiciones similares al futuro aeropuerto, acordes al ruido de fondo propio del lugar y a la representatividad del posible impacto acústico en los alrededores del aeropuerto. Cabe señalar la importancia del ruido de fondo, ya que es fundamental diferenciar el ruido de las aeronaves con otros tipos de ruido, como por ejemplo el de tráfico de rodado. Sobre la representatividad de los puntos en las cercanías del aeropuerto, deben escogerse de manera que tengan fácil acceso para a futuro realizar mediciones de monitoreos o planes de seguimiento acústico.

A continuación, se considera que en la elección de los puntos para la validación, debe señalarse la cantidad de estos puntos, la distancia (en metros) de cada uno a la cabecera de la pista, y la altura (en metros) de medición de cada punto respecto del suelo.

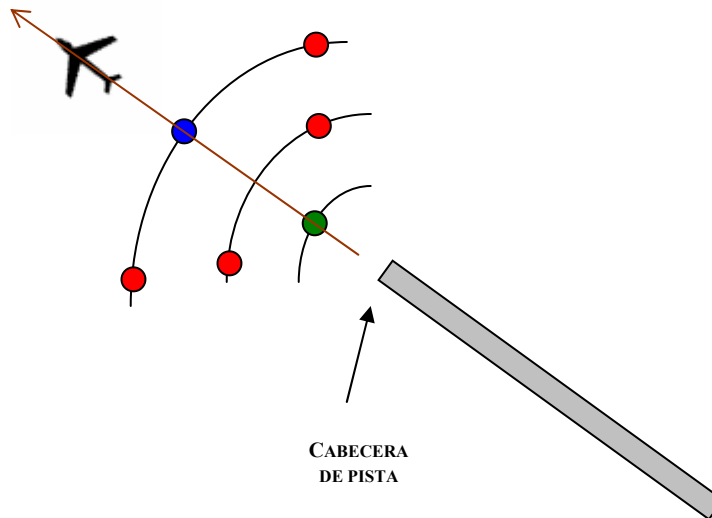


Figura 33.2.2. Ejemplo de distribución de los puntos de medición alrededor de la cabecera de pista.

Fuente: [Elaboración propia]

Por ejemplo, en la figura 33.2.2 se estipulan seis puntos, dos puntos en la misma dirección de la pista del aeropuerto (verde y azul), que además deben estar en función de la trayectoria de la aeronave para la operación de despegue, y cuatro puntos en la dirección lateral (puntos rojos), donde se considera que queden ubicados en la dirección perpendicular a la trayectoria horizontal de despegue, para después poder evaluar la atenuación del ruido en esa dirección de propagación.

Las características acústicas entre los puntos rojos opuestos a cada lado de la trayectoria debieran ser similares debido a la simetría (si es que fuesen ubicados de forma simétrica a la trayectoria de la aeronave).

Se considera también, que las mediciones deben realizarse durante un tiempo representativo, una semana laboral por ejemplo, y abarcando una cantidad considerable de aeronaves, donde debe estipularse el tipo de aeronave, cantidad y ubicación de los motores, ya que como se ha

estudiado, una de las deficiencias del programa de modelación de ruido integrado INM se presenta en la atenuación lateral de los aviones con montaje de motores en las alas.

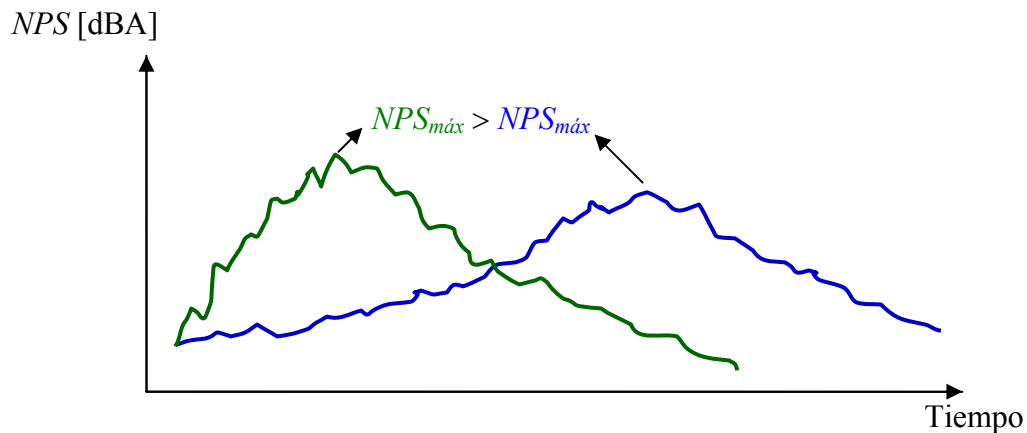


Figura 33.2.2.1 Ejemplo de evolución del nivel de presión sonora para los puntos en verde y azul.

Fuente: [Elaboración propia]

En la figura 33.2.2.1 se muestra a modo de ejemplo como debiera ser la evolución¹ del nivel de presión sonora entre los puntos ubicados en la trayectoria de la aeronave (verde y azul), donde sería posible observar el desplazamiento de la huella acústica en función de la distancia a la cabecera de la pista. (La diferencia entre los $NPS_{máx}$ de cada punto, vendrá dada por las distancias entre los puntos de medición y el ángulo de subida de la aeronave, aunque además se deberá menospreciar la influencia del piloto, asumiendo una trayectoria estándar de despegue).

A continuación, se considera calcular los niveles Leq por cada tipo de familia de aeronaves (ej.: B737, A320, etc.), con un tiempo de promediación igual para todas las mediciones, es decir, primero calcular el nivel Leq de cada aeronave, luego agruparlas por tipo de aeronaves (familia), para finalmente calcular el Leq promedio de cada familia de aeronaves. (Otro análisis de importancia, será la comparación entre la totalidad de las aeronaves). Luego, queda realizar las diferencias entre las mediciones y los valores simulados como se muestra en el siguiente modelo de tabla:

¹ La evolución temporal de niveles presenta una distribución *gaussiana* en el tiempo. [46]

PUNTO DE MEDICIÓN	AERONAVE				
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	...	TODAS
1	ΔLeq	ΔLeq	ΔLeq	...	ΔLeq
2	ΔLeq	ΔLeq	ΔLeq	...	ΔLeq
3	ΔLeq	ΔLeq	ΔLeq	...	ΔLeq
...

Tabla 33.2.2.1. Tabla modelo para diferencias del nivel de presión sonora entre valores reales y simulados.
Fuente: [Elaboración propia]

donde, ΔLeq es la diferencia del nivel Leq en dBA, entre el valor promedio real y el simulado. En general, según [33], deben asegurarse precisiones globales dentro de un margen de ± 3 dBA.

Los resultados obtenidos serán de gran utilidad a la hora de calibrar el modelo computacional, debido a que se espera que los valores del modelo integrado entreguen una excesiva atenuación lateral. Debe considerarse una atención especial en estas metodologías, ya que simulaciones sin validar o validaciones insuficientes pueden arrojar falsos escenarios, lo cual implicaría pérdidas económicas innecesarias.

33.3 METODOLOGÍA PARA LA MODELACIÓN DEL RUIDO.

Para la modelación del ruido será necesario utilizar las metodologías del *Apéndice A¹* de la U.S. F.A.R. parte 150 para la modelación del ruido aéreo, esto es:

- Mediciones con sonómetro tipo II ², filtro en ponderación A y respuesta lenta (Slow).
- Complementar las mediciones de validación con el Nivel de Presión Sonora Máximo $NPS_{máx}$ y el Nivel de Exposición Sonora SEL .

Los requisitos básicos según U.S. F.A.R. 150 para los reportes de ruido son:

- Contornos de ruido YL_{DN} de 65, 70 y 75 dBA. Aunque se pueden adicionar otros contornos.

¹ Appendix A: Noise Exposure Maps – F.A.R. part 150 [2]

² Sonómetro de propósito general, se usa en terreno para mediciones comunes y para el registro de datos de niveles de ruido, para posteriores análisis de frecuencias. [32]

- Identificación de rutas de vuelo y pistas aeroportuarias.
- Estimación del número de población o habitantes dentro de los contornos YL_{DN} de 65, 70 y 75 dBA.
- En el mapa de ruido deben identificarse las calles y geografía según una escala apropiada.
- Incluir la indicación de los sitios sensibles (escuelas, hospitales, templos, centros de salud).

Todos estos datos serán de gran utilidad para después realizar la modelación de ruido del futuro aeropuerto. Una vez obtenida la modelación sonora deberán compararse los resultados con el uso existente de suelos en el lugar de planificación del aeropuerto. Se considera utilizar la tabla **19.4.2** donde la U.S. F.A.R 150 establece la compatibilidad para diferentes usos de suelos según el YL_{DN} en dBA. Es primordial contar con un Plano Regulador Comunal otorgado por la Municipalidad respectiva, en el cual se especifiquen las zonas definidas en la tabla **19.4.2.** de U.S. F.A.R. 150, para cada uso de suelo en cada sector.

Si no se cuenta con tal Plano, se sugiere utilizar el método de determinación del tipo de zonas del manual del D.S. N° 146/97 MINSEGPRES [5], el cual señala principalmente, que para determinar los tipos de zonas, son necesarios algunos pasos previos como:

- Contactar a la Dirección de Obras de la Municipalidad correspondiente y de acuerdo a la información que entregue esta autoridad local, se procederá a comparar el tipo de zona establecida por el Instrumento de Planificación Territorial con el tipo de zona establecida en la Norma, procediendo a homologaciones realizadas previamente por la autoridad municipal mediante Oficio u otro documento legal oficial.
- Solicitar el apoyo del departamento de Desarrollo Urbano de la respectiva Secretaría Regional Ministerial de la Vivienda y Urbanismo, de manera de obtener consenso respecto de la Homologación de la zona.

34. MEDICIONES DE LOS NIVELES DE RUIDO.

Como base fundamental deberán incorporarse los criterios para la medición de los niveles de ruido para Estudios de Impacto Ambiental estipulados en el capítulo II del presente estudio, esto es:

Presentar como requisito fundamental mediciones de niveles de ruido, detallando el área de influencia del proyecto, en forma previa a su construcción (Línea de base).

Además, en las mediciones de ruido, una vez que el aeropuerto se encuentre operativo, se deberán registrar los horarios de las mediciones, cantidad de días de medición, línea aérea, tipo de avión, operación (despegue, aterrizaje, sobrevuelo), nivel sonoro corregido día-noche L_{DN} y el nivel de exposición sonora SEL , ya que este último representa la mejor descripción sonora para el paso de una aeronave y es requisito básico para los reportes según la U.S. F.A.R. parte 150 [2]. Cada punto de medición debe estar referenciado con su correspondiente coordenada de ubicación.

Para las mediciones del nivel de ruido de fondo, se deben tomar en cuenta las consideraciones para las mediciones (Medición de Ruido de Fondo) estipuladas en el manual de aplicación del D.S. N° 146/97 MINSEGPRES [5]:

- Se requerirá que la fuente de ruido que se desea evaluar se detenga o deje de producir los niveles de ruido que puedan estar causando molestia.
- Poner en modo *Leq* el instrumento de medición y oprimir el botón RESET para limpiar la memoria de señales parásitas o remanentes, antes de comenzar la medición.
- Medir *Leq* en forma continua durante un periodo de tiempo tal que se estabilice la lectura de nivel.
- Leer la pantalla del instrumento de medición cada 5 minutos y anotar el valor que indica de *Leq* sin resetear el instrumento.
- Se entenderá por estabilizada la lectura del instrumento de medición cuando la diferencia aritmética entre dos lecturas de *Leq* consecutivas sea menor o igual a 2 dBA.
- El nivel a considerar será el último de los niveles anotados, y éste, es el valor que deberá ser utilizado.
- Al tener la necesidad de medir el ruido de fondo por los criterios antes señalados, y de no ser posible medirlo, la medición debe ser suspendida.
- Se deberán identificar las fuentes emisoras que conforman el ruido de fondo en una ficha técnica (Informe Técnico correspondiente).

35. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.

35.1 MODELACIÓN DE RUIDO PARA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

Se debe cuantificar el ruido de fondo existente antes del inicio de las obras de construcción (nivel basal preexistente). Se considera además, indicar el tipo de actividad a realizar y la acción que representa en la etapa de construcción del proyecto aeroportuario, como se ejemplifica en el siguiente modelo de tabla:

ACTIVIDAD	ACCIÓN
MOVIMIENTOS DE TIERRAS	EXCAVACIONES
	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
	RELLENO ESTRUCTURAL
MOVIMIENTOS DE VEHÍCULOS Y MAQUINARIA	OPERACIÓN DE MAQUINARIA
	OPERACIÓN DE CAMIONES.
CONSTRUCCIÓN DE PISTA	CONSTRUCCIÓN DE SUB BASES Y BASES
	IMPRIMACIÓN Y RIEGO DE LIGA
	PAVIMENTACIÓN
...	...

Tabla 35.1. Tabla modelo de actividades y acciones en etapas de construcción del proyecto aeroportuario.

Fuente: [Elaboración propia]

A nivel federal, en los Estados Unidos, la Agencia de protección ambiental (*U.S. Environmental Protection Agency – EPA*), ha desarrollado varios estudios referentes al ruido de las obras de construcción. Según [55], la EPA clasifica en 5 etapas las faenas constructivas:

- Despeje de terreno, incluyendo demoliciones, remoción de estructuras antiguas, árboles, rocas y capas vegetales.
- Excavaciones.
- Fundaciones, incluyendo compactación de suelos.
- Obra gruesa, incluyendo estructuras, muros, pisos, ventanas e instalación de tuberías.
- Terminaciones, incluyendo revestimientos, pavimentos y limpieza.

Para realizar la modelación del ambiente sonoro de las obras de construcción del proyecto, según [55], se podría utilizar, por ejemplo, la tabla 35.1.1, donde se indican algunas de las más representativas maquinarias de construcción (equipadas con motores de combustión interna) y sus niveles de ruido a máxima potencia, de acuerdo a la clasificación de la EPA ordenadas según su uso.

TIPO DE EQUIPO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA [dBA]	DISTANCIA [m]
MOVIMIENTOS DE TIERRA		
Retroexcavadoras	74 – 92	15
Cargadores frontales	75 – 96	15
Bulldozers	70 – 95	15
Motoniveladoras	72 – 92	15
Tractores	76 – 96	15
Camiones	83 – 95	15
PROCESAMIENTO DE MATERIALES		
Camión mixer	74 – 87	15
Bombas concreteras	80 – 85	15
Grúas móviles	70 – 84	15
EQUIPOS ESTACIONARIOS		
Bombas	68 – 78	15
Generadores	70 – 84	15
Compresores	64 – 87	15
EQUIPOS DE IMPACTOS		
Martillos neumáticos	80 – 98	15
Equipo de pilotaje (Peak)	94 – 106	15
OTROS EQUIPOS		
Vibradores	68 – 82	15
Sierras	72 – 82	15

Tabla 35.1.1. Niveles de presión sonora en dBA de los principales equipos (a máxima potencia) utilizados en obras de construcción. Fuente: [55]

En síntesis, se deben indicar las distancias entre las faenas de construcción y los sitios poblados para evaluar los posibles impactos sonoros, donde es recomendable señalar los horarios en que se desarrollarán las actividades y estimar los niveles sonoros para los periodos día, tarde y noche. Dichas estimaciones podrán revelar los lugares más críticos, y así conocer

la futura realidad para poder comparar con la normativa aplicable¹. Así se podrán ejecutar medidas correctivas necesarias, antes de que la comunidad se sienta afectada y reaccione con reclamos a las autoridades.

35.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RUIDO EN FAENAS DE CONSTRUCCIÓN.

Para mitigar el ruido hacia las zonas directamente afectadas, una vez definidas las principales fuentes de ruido, se pueden proponer métodos de mitigación de ruido, tal como se describe en [32] y [55] (*Planes y Métodos de reducción de ruido*):

a) Instalar:

- ✓ Silenciadores de admisión o escape, pantallas o envolturas.
- ✓ Material amortiguador de ruido adentro de las tolvas y depósitos de acopio, cintas transportadoras o conductos de transportes.

b) Mantener:

- ✓ Silenciadores de cada equipo y su lubricación.
- ✓ Cubiertas o tapas prefabricadas.
- ✓ Las irregularidades de la superficie en sitios de la construcción para prevenir el ruido innecesario.

c) Limitar:

- ✓ Cantidad y duración de funcionamiento de los equipos desocupados.
- ✓ El uso de altoparlantes o sistemas de llamado de personal.
- ✓ El uso de herramientas manuales movidas por aire comprimido o gasolina.

¹ D.S. N° 146/97 MINSEGPRES y NCh 1619/79.

d) Configurar:

- ✓ Configurar la faena de construcción de manera tal que mantenga el equipamiento y las actividades ruidosas tan lejos como sea posible de las zonas sensibles al ruido.

e) Métodos generales:

- ✓ Fijar horarios de los eventos de construcción y limitar el tiempo de uso para aminorar el ruido, sobre todo si es que se realizan faenas nocturnas o cerca de zonas sensibles.
- ✓ Construir barreras acústicas o sistemas de cortinas de ruido. (La barrera más simple es ubicar los equipos ruidosos entre acopios de materiales).
- ✓ Disminuir el uso de cualquier tipo de alarmas dentro de las faenas.
- ✓ Capacitar al personal en relación a los métodos correctos de trabajo y de uso de equipos y herramientas.
- ✓ Realizar tareas ruidosas como cortes con sierra circular o uso del esmeril angular en lugares cerrados como bodegas subterráneas o recintos especialmente acondicionados para estos fines.
- ✓ Instalar carcasas sobre las zonas de descargas de los martillos neumáticos, con salidas tubulares y revestimiento interior absorbente, con el propósito de que actúen como cámaras de expansión. En algunos casos es posible instalar silenciadores de aire comprimido directamente sobre las salidas de aire.
- ✓ Descargar y transportar con grúa torre los fierros en paquetes y dejarlos caer suavemente sobre tierra, o en su defecto sobre planchas de goma (en caso de existir superficies hormigonadas).
- ✓ Preferir el uso de equipos y vehículos de última generación; evitar aceleraciones en vacío y bocinazos innecesarios.
- ✓ Programar la llegada y salida de camiones en forma secuencial, a fin de evitar la espera de vehículos de gran tamaño en las vías aledañas, que obstruyen el flujo vehicular, molestan al vecindario e inducen a los automovilistas a utilizar la bocina.

Si el titular del proyecto considera alguna medida con barreras acústicas, encierros u otros, deberá especificar los detalles técnicos de éstas, con sus correspondientes planos, diseños y cálculos, para asegurar que se cumple con la norma aplicable. Para evaluar el ruido de obras de construcción se debe utilizar el D.S. N° 146/97 MINSEGPRES, aunque existen Normas Chilenas (NCh, análogas ISO) para la medición del ruido emitido por máquinas y equipos¹. Se sugiere utilizar el Estándar Británico², donde puede encontrarse información básica y procedimientos para el control de ruido, y el Estándar Neozelandés³, referido al ruido de construcción.

35.3 PLAN INFORMATIVO CON LA COMUNIDAD DURANTE FAENAS DE CONSTRUCCIÓN.

Para el caso de las faenas de construcción, se recomienda tener un criterio diferente para la evaluación de su impacto acústico. A diferencia de las demás fuentes de ruido, las faenas de construcción tienen un periodo de operación establecido, en otras palabras, tienen una duración limitada en el tiempo. En general, dependiendo del proyecto de construcción, las obras de construcción tienen una mirada positiva por parte de la población, cuando la construcción, es directamente o indirectamente un beneficio a futuro para ellos. Estas características establecen cierto tipo de tolerancia al ruido de las faenas de construcción, que aunque suele ser molesto, es esporádico.

En caso que no exista algún método capaz de aminorar el ruido hacia la comunidad, el ruido tiene una mejor aceptación en las personas si se conoce que los operadores están haciendo los máximos esfuerzos posibles por mitigar el ruido. Otro punto que debe tenerse en consideración es la información del tiempo de duración de las operaciones ruidosas hacia la comunidad, ya que existe un mejor nivel de tolerancia, el saber por ejemplo, que una determinada operación muy ruidosa, tendrá una duración de un par de minutos.

¹ Nch 2489/2000; Nch 2585/2001; Nch 2507/2000; Nch 2508/2000.

² British Standard 5228/1984. [58]

³ New Zealand Standard 6803/1999. [57]

En definitiva, un plan informativo con la comunidad, evitará en gran parte, la posible reacción de la comunidad afectada.

35.4 PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL.

Para comprobar los resultados de las medidas de mitigación, y la evaluación del ambiente en general, se realizará un plan de seguimiento acústico de las faenas de construcción. Se deberán comparar los niveles con la normativa existente, es decir, se considera realizar mediciones de niveles de presión sonora continuo equivalente *Leq* (o *NPSeq*), y además, utilizar los procedimientos de medición del Título V del D.S. N° 146/97 MINSEGPRES para cada etapa de construcción. Por ejemplo, si se considera la clasificación de las faenas según la Agencia de Protección Ambiental EPA, se deberán realizar las mediciones para cada una de las cinco etapas por separado¹. Se considera además, tomar mediciones (*Leq*) en los puntos sensibles, en periodos apropiados y justificados de tiempo, para condiciones normales de operación.

36. ETAPA DE OPERACIÓN DEL AEROPUERTO.

36.1 MEDIDAS DE CONTROL DE RUIDO.

Una vez que se hayan establecido las posibles incompatibilidades con los usos de suelos, según la tabla 19.4.2 de U.S. F.A.R. parte 150 y el Plano Regulador Comunal, deberán realizarse planes de mitigación y control de ruido capaces de revertir la situación acústica en las zonas afectadas.

36.1.1 CONTROL DE RUIDO EN LA FUENTE.

Las medidas de mitigación y control de ruido dependen de muchos factores, por ejemplo una medida básica de mitigación es el control de ruido en la fuente, es decir, atenuación de los niveles de ruido directamente en los turborreactores de las aeronaves. Como se pudo observar en el capítulo I, son varios los estudios realizados para lograr la disminución de los niveles de ruido de los turborreactores, lo cual ha traído valiosos resultados. Actualmente los esfuerzos

¹ Evaluación para etapas de limpieza, excavaciones, pavimentación, fundaciones y obra gruesa.

en tecnología silenciosa están enfocados en el control de ruido activo y en el desarrollo de aviones funcionalmente silenciosos, como por ejemplo, a través de la *Iniciativa del Avión Silencioso*¹ en el Reino Unido [52]. Todos estos esfuerzos han logrado introducir las diferentes categorías acústicas de aeronaves según las homologaciones del ruido de aeronaves de la U.S. F.A.R. parte 36 y el Anexo 16 de la OACI. Las aeronaves más ruidosas que sobrevuelan hoy en día en Chile son las de la etapa 2, las cuales ya están prohibidas en muchos países. En Chile se tiene considerado el retiro de toda aeronave etapa 2 para el 1º de enero del 2009 [10].

Se considera entonces, como una primera medida de control de ruido, la utilización de aeronaves etapa 3, las cuales son consideradas las más silenciosas.

36.1.2 CONTROL DE RUIDO EN OPERACIONES TERRESTRES.

Cualquier operación en tierra que implique altos niveles de ruido en el aeropuerto debe ser controlada acústicamente. Se considera tomar en cuenta las Directrices del Adjunto C del Anexo 16 de la OACI [3]. Estas Directrices son para la homologación en cuanto al ruido de grupos auxiliares de energía (APU) y sistemas asociados de aeronaves durante operaciones en tierra.

36.1.2.1 CONSIDERACIONES PARA PRUEBAS RUN-UP.

Si el proyecto contempla la instalación de zonas de prueba de motores se deberá demostrar que estas instalaciones están acústicamente aisladas. Si su aislamiento es insuficiente se considera efectuar estas pruebas en horarios diurnos y por ningún motivo en horarios nocturnos o post-laboral (19:00 a 07:00 horas), a menos que no exista alguna comunidad afectada o se utilice alguna medida con barreras, encierros o sistemas silenciadores (ej.: *Trim Pad Noise Suppressor*), demostrando su eficiencia acústica mediante detalles técnicos y cálculos.

Otra manera de mitigar el impacto acústico de estas operaciones, es realizar monitoreos de ruido para encontrar la ubicación más apropiada para estas instalaciones.

¹ Silent Aircraft Initiative (SAI)

36.1.3 PROCEDIMIENTOS PARA LAS OPERACIONES DE VUELO.

Otra forma de mitigar el ruido de las aeronaves es considerar la modificación de las características de los despegues, aterrizajes y sobrevuelos, los horarios y operaciones aéreas. Se debe tener en cuenta las maniobras de los pilotos durante los despegues y aterrizajes siempre y cuando no existan problemas de seguridad, ya que por ejemplo, un ángulo máximo en la subida del despegue disminuiría considerablemente los niveles de ruido en zonas aledañas, lo que en caso contrario, un despegue plano, aumentaría la molestia de la comunidad. En este sentido se considera tomar en cuenta los procedimientos para los despegues de la U.S. F.A.A. denominados *Noise Abatement Departure Profiles* (NADP), los cuales se encuentran en la Advisory Circular 91-53A. Estos procedimientos dan cuenta de la forma de controlar la aeronave al momento del despegue y la subida (*Climb*), según medidas operacionales para campo lejano (> 3,5 millas náuticas¹ del aeropuerto) o campo cercano (< 3,5 [mn] del aeropuerto).

Se considera además, no sobrevolar siempre las mismas zonas, turnar las trayectorias para disminuir las dosis de ruido para cada zona contigua, teniendo siempre en cuenta no sobrevolar a baja altura a menos que sea realmente necesario.

Para aeropuertos con vuelos nocturnos, se priorizará la eliminación de los vuelos nocturnos como lo han hecho muchos países, como Suiza por ejemplo, aunque como se ha estudiado, estas medidas son inaceptables para las aerolíneas, ya que podrían acarrear pérdidas económicas.

36.1.4 CONTROL DE RUIDO EN LOS RECEPTORES.

Mitigar el ruido en los edificios de las zonas expuestas a altos niveles de ruido o alto número de tráfico aéreo se considera como una de las medidas de control de ruido, cuando se ha desarrollado una planificación inapropiada de los usos de suelos, o simplemente, cuando estos edificios se encuentran dentro de los contornos de ruido del nuevo proyecto aeroportuario.

¹ 1 [mn] \approx 1,85 [km]

Las molestias van desde trastornos al sueño, desconcentración en las salas de clases¹, vibraciones en las viviendas, entre otras molestias. Las soluciones más frecuentadas para mitigar el ruido, concretamente es la compra de las estructuras afectadas o su reubicación, compensaciones económicas por el tráfico aéreo, y el aislamiento acústico de las construcciones.

Se debe tener sumo cuidado en edificios como escuelas, colegios, complejos educacionales en general, hospitales, centros de atención médica y edificios patrimoniales, ya que al quedar al borde de los contornos YL_{DN} de 65 dBA deberá verificarse si se requiere o no, medidas de reducción de ruido (NLR). Se recomienda recurrir a la norma ASTM E1332-90/2003 [56] (*Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class*), la cual indica las posibilidades constructivas compatibles según el descriptor OITC² y comparar con los criterios de conservación del bienestar físico y psicológico de la OMS, basados en el $NPS_{máx}$, ya que representa la mejor correlación con el grado de interferencia en la comunicación oral [10].

36.1.5 MITIGACIÓN DEL RUIDO A TRAVÉS DEL COBRO DE DERECHOS.

En general, opciones de control de ruido como el cobro de derechos por ruido, se enfoca más a países desarrollados, como en Suiza por ejemplo, en los aeropuertos de *Zurich* y *Ginebra*, donde los cobros se realizan monitoreando a cada aeronave, para penalizar económicamente a las más ruidosas. Estas medidas deben considerarse entonces, como posibles futuras medidas, ya que precisamente éstas, son las que incentivan el uso de aeronaves con mejor tecnología silenciosa.

¹ Diversos estudios han demostrado que la exposición a altos niveles de ruido de aviones podría estar relacionada con habilidades en la lectura (lectura retardada) y problemas de memoria. [49]

² *Outdoor Indoor Transmission Class*. Descriptor que se utiliza para comparar el funcionamiento de las fachadas de edificios y de los elementos de la fachada. Cuantifica la capacidad de aislamiento acústico de paneles. [56]

36.2 EVALUACIÓN DEL RUIDO MEDIANTE PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL.

Se deben efectuar campañas de monitoreo en los sectores más sensibles, refinando los datos de evaluación del ambiente acústico si es posible. Estas campañas de monitoreo deben realizarse en un tiempo representativo, una semana laboral por ejemplo, y en los puntos en los cuales el estudio de impacto acústico haya establecido los lugares más sensibles. En estas mediciones, se considera registrar los niveles Leq , $NPS_{máx}$, $NPS_{mín}$, SEL y L_{DN} , donde a la vez, debe realizarse un registro completo de los horarios, modelos de aviones, rutas y condiciones meteorológicas.

Además, debe considerarse la instalación de estaciones fijas de monitoreo de ruido (la cantidad de estaciones de monitoreo dependerá de la envergadura del aeropuerto y de la cantidad de lugares sensibles), donde la ubicación de éstas, radicará en puntos estratégicamente escogidos dependiendo del estudio de impacto acústico. Una buena estrategia, sería por ejemplo, ubicar estas estaciones en las líneas de los contornos $L_{DN} = 65$ dBA u otros contornos exigidos por U.S. F.A.R. 150, ya que de esta forma se estará en continuo monitoreo de los contornos límites de influencia según el YL_{DN} .

Se recomienda además, utilizar el Método de Area Equivalente AEM [29], el cual puede entregar importante información acerca del incremento o no del contorno $L_{DN} = 65$ dBA.

Las campañas de monitoreo de ruido, más las estaciones fijas de monitoreo de ruido y más las estimaciones de los incrementos de los niveles de ruido del método de área equivalente AEM, permitirían entregar la nueva situación acústica del aeropuerto y determinar si debe realizarse un nuevo mapa de contornos de ruido mediante el Modelo de Ruido Integrado INM, para verificar posibles cambios en los usos de suelos.

Al margen de lo anterior, la U.S. F.A.R. 150 establece la realización de los mapas de exposición de ruido (NEMs) cada 5 años, realizando un estudio de impacto acústico con similares características al anterior y ocupando las mejores técnicas y tecnologías disponibles, aceptadas y aprobadas por la U.S. F.A.A.

Además, se debe realizar un plan de vigilancia para las operaciones en tierra. Es así como se recomienda utilizar (dependiendo de la envergadura del aeropuerto) un modelo similar al modelo de vigilancia utilizado en el aeropuerto de *Barajas* en Madrid, el cual consiste en un sistema¹ de monitoreo fijo de ruido compuesto por 3 terminales situados en las proximidades de la zona de estacionamiento de los aviones. Éstos, monitorean el ruido de las aeronaves que llegan o abandonan los estacionamientos, y con la ayuda de 3 cámaras de video siguen cualquier movimiento que se produzca en la zona. Mediante servidores que gestionan los datos, el sistema es capaz de identificar cualquier ruido inusual (por ejemplo, el encendido de motores sin autorización), informándoles a los operarios mediante mensajes de red.



Figura 35.2. Fotografías del avión infractor mediante cámara de video para fines de documentación.

Fuente: [51]

Además, cuenta con opciones de fotografías (figura 35.2) y de grabación de sonidos con fines de documentación.

¹ Sistema ideado por la empresa Brüel & Kjær. [51]

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

- A lo largo de la historia de la aviación, las investigaciones experimentales en la reducción y la mitigación del ruido en los turborreactores han logrado en gran parte la disminución de los niveles de ruido. Estos logros deben ser complementados con estudios de impacto acústico y planes de compatibilidad con los usos de suelos, de esta forma se puede dar una validez a tales investigaciones, de lo contrario estos esfuerzos serán en vano.
- La evaluación ambiental del ruido de las aeronaves es extremadamente compleja, debido a múltiples factores los cuales afectan directamente o indirectamente las mediciones. Dentro de los principales factores, se encontraron:
 - Factores atmosféricos. (Vientos, atenuaciones, gradientes de temperatura, etc.).
 - Tipo de aeronave. (Homologación acústica)
 - Operaciones aéreas. (Despegue, aterrizaje, sobrevuelo).
 - Trayectorias aéreas. (Posiciones exactas respecto de los puntos de medición).
 - Cantidad y horarios de operaciones aéreas.
- El mejor descriptor de ruido para el paso de una aeronave es el nivel de exposición sonora *SEL*, debido a que clasifica el evento según su distribución de energía en el tiempo de referencia de 1 segundo. En otras palabras, este parámetro acústico sólo evalúa el comportamiento sonoro durante el tiempo en que transcurre el suceso, para luego poder comparar diferentes operaciones aéreas en iguales condiciones.
- Al momento de evaluar las posibles molestias producidas por el ruido de las aeronaves, se verifican dos aspectos fundamentales:
 - Se deben utilizar los mejores descriptores para el suceso acústico de una operación aérea en particular.

- Se deben cuantificar los sucesos aéreos al momento de evaluar la molestia por parte de la comunidad.
- Dentro de la Ley ambiental chilena, los proyectos de nuevos aeropuertos o proyectos de remodelación aeroportuaria, necesitan presentar (bajo la Ley N° 19.300) un estudio de impacto ambiental, el cual debe incluir, dentro de una gama de requisitos ambientales, la consideración acústica y sus debidos procedimientos de evaluación, acordes a normativas de ruido vigentes y aceptadas por el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Las regulaciones internacionales para el ruido de aeronaves van acordes con el desarrollo histórico, es decir, países como Estados Unidos o países miembros de la Unión Europea, poseen grandes avances en el tema a lo largo de los años, estableciendo leyes y políticas que regulan este tipo de ruido, por ello, es recomendable considerar estas experiencias, y tomar los resguardos necesarios para la evaluación del ruido aeronáutico.
- La utilización de programas computacionales para la modelación del ruido de las aeronaves, son de cierto modo, de obligatoria utilización. La modelación del ambiente sonoro por campañas de medición se hace prácticamente imposible, debido a la gran dificultad al momento de evaluar con un mínimo de precisión, es decir, realizar extensas campañas de medición para que puedan ser consideradas representativas, considerando además, los costos económicos que ello significa.
- El nivel de ruido percibido L_{PN} y el nivel de ruido percibido efectivo L_{EPN} , son utilizados como indicadores en las medidas para la homologación del ruido de las aeronaves, tal como se especifica en los procedimientos de la OACI y la F.A.A., debido a su carácter riguroso en el método de cálculo. Sin embargo, se han complementado con la utilización en diversos índices de exposición sonora (por ejemplo el índice *NEF*). De esta forma, estos índices, pueden ser utilizados para representar el grado de molestia hacia las comunidades adyacentes.

- La utilización de programas computacionales más sofisticados, ya sea con visualizaciones dinámicas de ruido, con inclusión de efectos de tierra, directividad, o cualquier condición que describa el ruido mediante características más reales, deberán ser considerados al momento que se requieran monitoreos de evaluación para días puntuales, ya que no necesariamente representan la situación futura al momento de proyectar los posibles niveles de ruido. Es una de las razones de por qué modelos como INM son de casi obligada utilización a la hora de realizar estudios de impacto acústico de aeronaves.
- Otro punto de vista que fue posible analizar, fueron las metodologías expuestas por diferentes tipos de estudios de ruido de aeronaves, donde los objetivos específicos de cada estudio hicieron referencia a la realización de los contornos de ruido, para luego analizar la situación acústica de acuerdo al uso de suelos. En conclusión, este es el punto principal de un estudio de impacto acústico de aeropuertos: evaluar los posibles impactos hacia las comunidades afectadas y las respectivas medidas de mitigación de tales impactos.
- Se constataron interpretaciones inapropiadas en algunos de los Estudios de Impacto Ambiental de los proyectos de nuevos aeropuertos, donde los problemas se relacionaron con interpretaciones de normas y reglamentos.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se ha establecido la necesidad de realizar una correcta validación de los programas de modelación utilizados, mediante procedimientos que proporcionen garantías para ello. Los errores en las predicciones pueden determinar la viabilidad de un proyecto, ya que la modelación de escenarios irreales conlleva a graves problemas de impacto acústico a futuro. En estos casos, una vez que el proyecto se encuentre operativo, se tendrán que realizar gastos extras y complicadas soluciones.
- Para una correcta validación del Modelo de Ruido Integrado – INM, los puntos de monitoreos deben estar alineados de acuerdo a la trayectoria de despegue de la aeronave, y los puntos de monitoreo laterales, deberán estar perpendiculares a tal trayectoria.
- Las opciones de control de ruido para las operaciones en tierra son únicas para cada aeropuerto en particular, y, generalmente, estas operaciones son realizadas en grandes aeropuertos internacionales, donde la revisión de los sistemas de vuelos son esenciales cuando se proyectan viajes de largo alcance. Además, se verificó que medidas de mitigación de ruido para estos casos, deberán ir acompañadas de informes que den garantía de cumplimiento de la normativa vigente.
- Se analizaron los factores acústicos, desde el punto de vista de la subjetividad, que inciden en las faenas de construcción de un nuevo aeropuerto, o de cualquier proyecto en general. Pudo observarse que debe tenerse un criterio especial para la evaluación del impacto acústico, debido al carácter esporádico de estas obras, y que además, es recomendable atenerse a criterios internacionales referentes a técnicas de mitigación del ruido. También para este caso, se observó la importancia de un plan informativo con la comunidad y de la necesidad de realizar un plan de seguimiento acústico de las faenas.

- El más importante punto de vista analizado, fue la forma de limitar o reducir el número de personas afectadas por el ruido de aeronaves. Se estableció que mediante la tabla **19.4.2** de U.S. F.A.R. parte 150 debía verificarse la compatibilidad de diferentes usos de suelos. Esta tabla no establece niveles sonoros estrictos. En otras palabras, la normativa F.A.R. parte 150 establece que los límites sonoros para la compatibilidad de los usos de suelos, dependerán de cada Estado o Ley local, cuya responsabilidad recaerá en las autoridades locales. Además, para el caso chileno, sería adecuado el desarrollo de una nueva tabla que verifique la compatibilidad de los usos de suelos mediante nuevos estudios en las comunidades cercanas a los aeropuertos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **NORMA CHILENA OFICIAL NCh 1619 (1979)**. Acústica – Evaluación del Ruido en Relación con la Reacción de la Comunidad.
- [2] **REGULACIÓN FEDERAL DE AVIACIÓN F.A.R. Part 150: Airport Noise Compatibility Planning. Part 91: General Operating and Flight Rules. Part 36: Aircraft Type and Airworthiness Certification. [Electronic Code of Federal Regulations \(e-CFR\)](#)**. (U.S.A.)
- [3] **ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, OACI (1993)**. Protección del Medio Ambiente. Anexo 16, Volumen I: Ruido de Aeronaves.
- [4] **MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA (1997)**. Decreto Supremo N° 146, Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas.
- [5] **MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA (1998)**. Manual de Aplicación (CONAMA) Decreto Supremo N° 146 de 1997, Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas.
- [6] **LEY N° 19.300 (1994)**. Ley de Bases del Medio Ambiente, CONAMA – Chile.
- [7] **D.S. N° 95 (2001)**, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- [8] **ISO 3891 (1978)**. “*Acoustics – Procedure for describing aircraft noise heard on the ground*”.
- [9] **DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS (diciembre 2001)**. Estudio de Impacto Ambiental - Nuevo Aeropuerto regional III región.
- [10] **REPÚBLICA DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS (abril 2003)**. Estudio de Impacto Ambiental - Segunda Pista Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB). (Anexo 9: “Evaluación de Impacto Acústico” – Adenda N° 1).
- [11] **REPÚBLICA DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS (agosto 2003)**. Estudio de Impacto Ambiental - Nuevo Aeropuerto de la IV región.

- [12] **REPÚBLICA DE CHILE, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS (enero 2006).** Estudio de Impacto Ambiental - Anteproyecto Referencial Nuevo Aeropuerto de la Región de La Araucanía.
- [13] **REGLAMENTO 814.41 (Extracto) (1996).** Sobre la Protección Contra el Ruido (Consejo Federal Suizo) del 15 de diciembre de 1986 (Estado el 1º de enero de 1996).
- [14] **PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANA DE ZARAGOZA (1999).** Mapa de Ruido del Aeropuerto de Zaragoza, España.
- [15] **ISO 9613 (1993/1996).** “*Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors*”. Parte 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. Parte 2: General method of calculation.
- [16] **GRUPO RUIDO – FACULTAD DE ARQUITECTURA, PLANEAMIENTO Y DISEÑO (UNR, 2001).** Manchas Acústicas: Ruido de Aeropuertos. IV Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica. Rosario, Argentina, 22 – 24 oct. 2001.
- [17] **COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1996).** Política Futura de Lucha Contra el Ruido – *Libro Verde de la Comisión Europea*. Bruselas.
- [18] **LLADÓ PARIS J., PELEGRÍN DUCE J.L. (1989).** Ruido del Tráfico Aéreo. Jornadas Nacionales de Acústica – Environmental Acoustics, Zaragoza 89.
- [19] **RECUERO M., SUÁREZ E. (2000).** Análisis comparativo sobre programas computacionales de predicción de ruido en exteriores. Tecniacústica – Madrid.
- [20] **DIRECTIVA 92/14/CEE (1992).** Relativa a la limitación del uso de aviones, objeto del Anexo 16 del Convenio relativo a la aviación civil internacional.
- [21] **MARZZANO A., SUÁREZ E. (1996).** Seminario Chileno de Acústica – Valdivia. *Evaluación de Impacto Ambiental en Chile: Discusión de Criterios Involucrados para la Contaminación Acústica*.
- [22] **SUÁREZ E. (2004).** “*Acústica Ambiental*” (Acus250) – Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile. Valdivia – Chile.
- [23] **CIVIL AVIATION AUTHORITY, ENVIRONMENTAL RESEARCH AND CONSULTANCY DEPARTMENT.** *Aircraft Noise Model Validation – How accurated do we need to be?*. Kingsway, London.

- [24] **J. MICAH DOWNING (2004).** *Noise Simulation Modeling for Airport Noise Analysis.* Inter-Noise2004, Prague. Czech Republic. 22-25 de agosto.
- [25] **CONNER, CASEY, MARCOLINI, PAGE, PLOTKIN, DOWNING. (2001).** An Overview of the Rotorcraft Noise Model (RNM). *Environmental Noise Session, International Military Noise Conference.* Baltimore, Maryland 24-26 de abril.
- [26] **OACI (2001).** Coloquio sobre los aspectos ambientales de la aviación. Ruido de Aeronaves – Políticas vigentes de la OACI. Montreal.
- [27] **NICO VAN OOSTEN (2004).** Estudio sobre la exposición actual y futura al ruido de aeronaves en 51 aeropuertos europeos. *Guimaraes - Portugal. Acústica 2004*, paper ID: 017/P.1
- [28] **SÁNCHEZ A., JIMÉNEZ S., CAPDEVILLA R., CARDONA J. (2003).** Validación de medidas experimentales de ruido de aeronaves mediante el programa INM. *TecniAcústica – Bilbao 2003.*
- [29] **AREA EQUIVALENT METHOD, AEM (2001).** User's Guide Version 6.0c. Federal Aviation Administration (F.A.A.), Office of Environment and Energy. Washington, DC 20591.
- [30] **HELIPORT NOISE MODELING REPORT (2000).** *Model Review and Program Plan.* Prepared for the F.A.A., Washington, DC.
- [31] **BRIDGENET INTERNATIONAL (2006).** *Ground Run-up Enclosures and Noise Control Options.* [<http://www.airportnetwork.com/>]. Consulta: [10 enero 2006].
- [32] **CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN, MUTUAL DE SEGURIDAD, COMISIÓN DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE (2003).** *Control de Ruido en Obras de Construcción.* Manual de la Construcción Limpia.
- [33] **BRÜEL & KJÆR (2000).** *Libro Ambiental.* Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.
- [34] **DETROIT METROPOLITAN WAYNE COUNTRY AIRPORT (2005).** FAR Part 150 Noise Compatibility Study. (*Working Paper Two*).
- [35] **CARRIÓN A. (2001).** “*Diseño acústico de espacios arquitectónicos*”. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

- [36] **GUZMÁN W. (2001).** Exposición al Ruido de Aviones y su Impacto en el Uso de la Tierra Junto a Aeropuertos. Seminario Conjunto OACI-ACI/LAC Sobre Ambiente y Peligro Aviario.
- [37] **INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION – ICAO. (2006).** “Aircraft Noise”. *Air Transport Bureau (ATB).*
- [38] **INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION – ICAO. (2004).** Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft. *Doc 9501 – Third Edition.*
- [39] **RESTRICK K. (2002).** Error Sensitivity Analysis of the Integrated Noise Model. Eurocontrol – Experimental Centre. *EEC/ENV/2002/006.*
- [40] **FRENCH DGCA – ICAO. (2006).** Noise Data Base. [<http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/>]. Consulta: [14 agosto 2006].
- [41] **U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. (2005).** “Stage 4 Aircraft Noise Standards; Final Rule”. *Federal Register/Vol. 70, N° 127/Tuesday, July 5, 2005/Rules and Regulations.*
- [42] **RAKAS J., MUMAYIZ S. (2001).** Airport Modeling and Simulation for Environmental Analyses. *TRB 80th Annual Meeting Workshop.*
- [43] **U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. (2006).** Order 1050.1E, Policies and Procedures for Considering Environmental Impacts.
- [44] **U.S. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. (2006).** Integrated Noise Model (INM). [http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/aep/models/inm_model/]. Consulta: [10 enero 2006].
- [45] **WYLE LABORATORIES, INC. – WYLE RESEARCH & CONSULTING. (2006).** Noise Model Simulation (NMSim). [<http://www.nmsim.com/>]. Consulta: [03 febrero 2006].
- [46] **MARZZANO A. (2003).** Trabajo de Suficiencia Investigadora: “Estudio de Niveles de Ruido y Percepción Subjetiva Producida por las Operaciones Aéreas del Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago – Chile”. *Universidad Politécnica de Madrid.*

- [47] **REPÚBLICA DE CHILE – COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. (2005).** Da Inicio a Elaboración Norma de Ruido para Aeropuertos. *Exenta N° 2574.*
- [48] **GOOGLE EARTH PLUS V3.0. (2005).** Graphic Software. *Public – Beta.*
- [49] **STANSFELD S., HAINES M., BRETNALL S., HEAD J., ROBERTS R. (2001).** West London Schools Study: Aircraft Noise at School and Children’s Cognitive Performance and Stress Responses. *Final Report. University of London.*
- [50] **AIRPORT TECHNOLOGY (2006).** London Heathrow Airport (LHA/EGLL) Terminal 5, United Kingdom. [<http://www.airport-technology.com/>]. Consulta: [20 agosto 2006].
- [51] **BRÜEL & KJÆR MAGAZINE (2004).** The International Sound and Vibration. – *Magazine from Brüel & Kjær N° 1, 2004.*
- [52] **THE CAMBRIDGE – MIT INSTITUTE (2006).** *Silent Aircraft Initiative (SAI).* [<http://www.cambridge-mit.org/research/sai>]. Consulta: [18 julio 2006].
- [53] **THE K-8 AERONAUTICS INTERNET TEXTBOOK (2006).** [<http://wings.avkids.com/>]. Consulta: [06 marzo 2006].
- [54] **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA – RAE. (2003).** Versión 1.0 CD-ROM. *Edición N° 22. Madrid.*
- [55] **VERDEJO A. (2001).** Elaboración de Antecedentes Relativos a la Emisión de Ruidos Generados por Actividades de Construcción. *Informe Final, Contrato N°21-21-001/01.*
- [56] **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2003).** Standard Classification for Determination of Outdoor-Indoor Transmission Class. *ASTM E1332-90/2003.*
- [57] **NEW ZEALAND STANDARD 6803 (1999).** *Acoustics – Construction Noise.*
- [58] **BRITISH STANDARD 5228 (1984).** Part 1. *Code of Practice for Basic Information and Procedures for Noise Control.*

ANEXO I

ADVISORY CIRCULAR 150/5020-1

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

NOISE CONTROL AND COMPATIBILITY PLANNING FOR AIRPORTS

CHAPTER 3: TOOLS OF AIRPORT NOISE COMPATIBILITY PLANNING

(SECTION 1: ELEMENTS OF AIRPORT NOISE PLANNING)

SECTION 1. ELEMENTS OF AIRPORT NOISE PLANNING

300. GENERAL. This chapter discusses the airport noise compatibility planning process and forms the primary background for preparing airport noise compatibility programs under FAR Part 150. In addition, noise control and noise impact abatement actions available to both airport operator and neighboring communities are discussed. Equal emphasis is placed upon urban planning and airport operational solutions. Throughout the chapter, emphasis will be placed upon reduction of airport noise (present and future) to the practical minimum; long-term protection of the agreed-upon noise impact areas from development with noncompatible uses; and actions to reduce the noncompatibilities remaining within those noise impact areas to acceptable levels.

301. NOISE COMPATIBILITY PLANNING. Airport Noise Compatibility Planning is a joint planning effort which examines and weighs both aviation and urban planning strategies in seeking long-term solutions to existing and or future noise conflicts around an airport. Local consultation citizen participation of airport users, affected locals governments and airport neighbors, as well as the airport's operator. Section 103 of the ASNA Act requires that noise exposure maps be prepared in consultation with public agencies and planning agencies in areas surrounding the airport. FAR Part 150 requires consultation with the users and the agencies with land use control jurisdiction or planning responsibilities lying within the airport's 65 L_{dn} contour. Citizen participation in the planning and decisionmaking processes which affect their lives and property is now recognized as a cornerstone of planning and should be integrated into that process. See FAA Advisory Circular 150/5050-4, Citizen Participation in Airport Planning, and Report N° FAA-EE-79-06, Community Involvement Manual, for more detail on this subject.

302. SCOPE OF THE PLANNING EFFORTS. The scope of the planning efforts will, of course, vary considerably, depending upon the extent and complexity of the noise problems at a given airport. However, the planning efforts should be sufficient to identify the most viable alternative of those which might be proposed, to demonstrate that it is equitable to those affected, and that is fully implementable. This planning should be integrated into the existing or ongoing comprehensive planning for the region involved and should be realistic in its regard for monetary cost and its ability to generate the local planning and land use control action necessary for its implementation and longevity. FAA does not regulate or direct the consultative process of local governments, but will rely on the certification by the airport operator, under Section 150.21 of Part 150, concerning such consultation.

303. THE CONTEXT OF AIRPORT NOISE PLANS. The Airport Noise Compatibility Planning Program should be viewed as a more detailed segment of the overall comprehensive planning for the area. It should first determine the extent of existing problems (if any) and the effects of airport and air traffic growth trends, and then determine the needs and values of both the airport users and those impacted by the airport. The planning program must explore with equal vigor both aviation and urban planning solutions to the problems. Each viable solution or combinations of solutions is then tested against the realities of the social, economic, and environmental needs of the community(s) served and of the State and the Nation. It should

also be recalled that aviation growth is not only a function of community growth but also the per capita usage of aviation.

304. THE OBJECTIVES OF PART 150 PLANNING. The objective of the planning effort is to find reasonable solutions to the noise problems and to present solutions that can be implemented. Although FAA environmental assessment of the compatibility program is not required prior to FAA approval or disapproval within the 180 day review period, each element or combination of elements going into the program should be capable of passing such a test prior to implementation. Failure to do so may seriously delay FAA funding of projects to carry out approved programs if, through the sponsor's failure to adequately assess those impacts, the FAA is forced to deal with these impacts without adequate environmental data at the funding stage. FAR Part 150 also requires that adequate provision be included for periodic review and updating of the compatibility program to account for changes in airport operations.

305. USE OF LOCAL OR STATE STANDARDS. The land use compatibility chart is derived from FAR Part 150 and contains land uses that have been identified as "normally compatible" with various levels of noise. The values for residential uses are based upon studies of noise-induced annoyance. For other land uses, the values are based primarily upon noise-induced interference with speech communication or upon interference with the critical activity associated with the use. However, in applying the table, it should be kept in mind that no two communities are likely to have situations or value systems that are identical. Adjustments to the land-use categories and noise levels may be necessary in considering specific local conditions. These decisions should be made early in the compatibility planning process. Citizen participation in this key element of the planning is advisable.

306. DEVELOPMENT OF ALTERNATIVES AND IMPLEMENTATION STRATEGIES.

Development of reasonable alternatives is the nucleus of the compatibility planning process. The objective is to explore a wide range of feasible options and alternative compositions of land use patterns, noise control actions, and noise impact patterns, seeking optimum accommodation of both airport users and airport neighbors within acceptable safety, economic, and environmental parameters. Consideration of alternatives should address both physical planning and the implementation aspects of proposed solutions. It is, however, unlikely that any single option, by itself, will be capable of totally solving the problem(s) without having objectional impacts of its own. Some of the options may have little or no value in the situation, especially if used alone. Realistic alternatives, then, will normally consist of combinations of the various options in ways which offer more complete solutions with more acceptable impacts or costs. Each alternative considered should: have the potential of resolving the problem(s); be implementable within acceptable economic, environmental, and social costs; and be legally implementable within existing State/Federal legislation and/or regulation. Brief summations or estimates indicating how these criteria are to be met should be prepared for each alternative. A sufficiently broad range of choices available to give credibility to the studies. The matrix of noise control actions shown in Figure 2 on the following page, while not necessarily exhaustive, illustrates an array of options or possible solutions to a cross section of noise compatibility problems.

307. – 319. RESERVED.

FIGURE 2

MATRIX OF NOISE CONTROL ACTIONS

CONSIDER THESE ACTIONS		IF YOU HAVE THIS PROBLEM						
		NOISE FROM: TAXING	DEPARTURE	APPROACH	LANDING ROLL	TRAINING FLIGHTS	MAINTENANCE	GROUND EQUIPMENT
AIRPORT PLAN	Changes in Runway Location, Length or Strength	1	●	●	●	●	●	
	Displaced Thresholds	2			●		●	
	High-Speed Exit Taxiways	3	●			●		
	Relocated Terminals	4	●					●
	Isolating Maintenance Runups or Use of Test Stand Noise Suppressors and Barriers	5	●					●
AIRPORT AND AIRSPACE USE	Preferential or Rotational Runway Use *	6	●	●	●	●	●	
	Preferential Flight Track Use or Modification to Approach and Departure Procedures *	7		●	●		●	
	Restrictions on Ground Movement of Aircraft *	8	●					
	Restrictions on Engine Runups or Use of Ground Equipment	9						●
	Limitations on Number or Types of Operations or Types of Aircraft	10	●	●	●	●	●	●
	Use Restrictions Rescheduling Move Flights of Another Airport	11	●	●	●	●	●	●
	Raise Glide Slope Angle or Intercept *	12			●		●	
AIRCRAFT OPERATION	Power and Flap Management *	13		●	●		●	
	Limited Use of Reverse Thrust *	14				●		
LAND USE	Land or Easement Acquisition	15	●	●	●	●	●	●
	Join Development of Airport Property	16	●	●	●	●	●	●
	Compatible Use Zoning	17	●	●	●	●	●	●
	Building Code Provisions and Sound Insulation of Buildings	18	●	●	●	●	●	●
	Real Property Noise Notices	19		●	●	●	●	●
	Purchase Assurance	20		●	●	●	●	●
NOISE PROGRAM MANAGEMENT	Noise-Related Landing Fees	21	●	●	●	●	●	
	Noise Monitoring	22		●	●		●	●
	Establish Citizen Complaint Mechanism Establish Community Participation Program	23	●	●	●	●	●	●

* These are examples of restrictions that involve FAA’s responsibility for safe implementation. They should not be accomplished unilaterally by the airport operator.

ANEXO II

ADVISORY CIRCULAR 91-53A
U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FEDERAL AVIATION
ADMINISTRATION

NOISE ABATEMENT DEPARTURE PROFILES



U.S. Department
Of Transportation

**Federal Aviation
Administration**

Advisory Circular

Subject: **NOISE ABATEMENT DEPARTURE
PROFILES**

Date: 7/22/93
Initiated by: AFS-400

AC No: 91-53A

1. PURPOSE. This advisory circular (AC) describes acceptable criteria for safe noise abatement departure profiles (NADP) for subsonic turbojet-powered airplanes with a maximum certificated gross takeoff weight of more than 75,000 pounds. These procedures provide the user with one means, although not the only means, of establishing acceptable NADP's. These departure profiles are consistent with the airworthiness standards required by the Federal Aviation Regulations (FAR's) Part 25 for type certification and FAR Part 91 for general airplane operations. This AC also provides a technical analysis and description of typical departure profiles that are consistent with the Federal Aviation Administration's (FAA's) safety responsibilities and have the potential to minimize the airplane noise impact on communities surrounding airports.

2. CANCELLATION. AC 91-53, Noise Abatement Departure Profile, dated October 17, 1978, is canceled.

3. RELATED READING MATERIAL.

a. FAR Parts 25, 91, 121, 125, 129, and 135.

b. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration Environmental Assessment for AC 91-53A. Copies may be obtained from the Office of Environment and Energy, FAA, 800 Independence Avenue SW., Washington, DC 20591.

c. FAA Analysis of Noise Abatement Departure Procedures for Large Turbojet Airplanes. Copies may be obtained from the Office of Environment and Energy, FAA, 800 Independence Avenue SW., Washington, DC 20591.

d. County of Orange, California, Environmental Impact Report #546. Copies may be obtained from County of Orange, Environmental Management Agency, 12 Civic Center Plaza, P.O. Box 4048, Santa Ana, CA 92701-4048.

4. BACKGROUND.

a. For several years, the FAA has worked to develop and standardize profiles to minimize airplane noise. As part of that commitment, the FAA has worked with airport managers, airplane operators, pilots, special interest groups, and Federal, State, and local agencies in numerous programs for evaluating noise levels in the airport environment. The research considered a variety of departure flight tracks and profiles.

b. From an environmental standpoint, avoiding noise sensitive areas by using preferential noise abatement runways and flight tracks whenever possible can effectively supplement a comprehensive noise abatement program. The FAA believes that using the two NADP's described in this AC for subsonic turbojet-powered airplanes can provide environmental benefits to the airport communities. The profiles outline acceptable criteria for speed, thrust settings, and airplanes configurations, used in connection with NADP's. These NADP's can be combined with preferential runway selection and flightpath techniques to minimize noise impact.

c. FAA reviews of various airplane vertical NADP's indicate that some intricate NADP's have been developed on an airport specific basis. The management of these intricate profiles could compromise the pilot's attention to interior flight deck details, traffic avoidance, and other safety responsibilities.

5. DEFINITIONS.

- a. **NADP.** Noise abatement departure profile.
- b. **Close-in Community NADP's.** NADP's for individual airplane types intended to provide noise reduction for noise sensitive areas located in close proximity to the departure end of an airport runway.
- c. **Distant Community NADP's.** NADP's for individual airplane types intended to provide noise reduction for all other noise sensitive areas.
- d. **AFE.** Above field elevation.

6. **NADP's.** Acceptable criteria have been established for two types of NADP's for each airplane type, as defined for use by each airplane operator. These departure profiles are applicable to all types of subsonic turbojet-powered airplanes over 75,000 pounds gross takeoff weight. The two types of NADP's are the "close-in" and "distant" profiles as described below.

a. **Close-in NADP.**

(1) Initiate thrust cutback at an altitude of no less than 800 feet AFE and prior to initiation of flaps or slats retraction.

(2) The thrust cutback may be made by manual throttle reduction or be approved automatic means. The automatic means may be armed prior the takeoff for cutback at or above 800 feet AFE or may be pilot initiated at or above 800 feet AFE.

(3) For airplanes without an operational automatic thrust restoration system, achieve and maintain no less than the thrust level necessary after thrust reduction to maintain, for the flaps/slats configuration of the airplane, the takeoff path engine-inoperative climb gradients specified in FAR Section 25.111(c)(3) in the event of an engine failure.

(4) For airplanes with an operational automatic thrust restoration system, achieve and maintain no less than the thrust level necessary after thrust reduction to maintain, for the flaps/slats configuration of the airplane, a takeoff path engine-inoperative climb gradient of zero percent, provided that the automatic thrust restoration system will, at a minimum, restore sufficient thrust to maintain the takeoff path engine-inoperative climb gradients specified in FAR Section 25.111(c)(3) in the event of an engine failure.

(5) During the thrust reduction, coordinate the pitchover rate and thrust reduction to provide a decrease in pitch consistent with allowing indicated airspeed to decay to no more than 5 knots below the all-engine target climb speed and, in no case to less than V_2 for the airplane configuration. For automated throttle systems, acceptable speed tolerances can be found in AC 25-15, Approval of Flight Management Systems in Transport Category Airplanes.

(6) Maintain the speed and thrust criteria as described in subparagraph 6 a(3) through 6 a(5) to 3,000 feet AFE or above, or until the airplane has been fully transitioned to the en route climb configuration (whichever occurs first), then transition to normal en route climb procedures.

b. **Distant NADP.**

(1) Initiate flaps/slats retraction prior to thrust cutback initiation. Thrust cutback is initiated at an altitude no less than 800 feet AFE.

(2) The thrust cutback may be made by manual throttle reduction or by approved automatic means. The automatic means may be armed prior to takeoff for cutback at or above 800 feet AFE or may be pilot initiated at or above 800 feet AFE.

(3) For airplanes without an operational automatic thrust restoration system, achieve and maintain no less than the thrust level necessary after thrust reduction to maintain, for the flaps/slats configuration of the airplane, the takeoff path engine-inoperative climb gradients specified in FAR Section 25.111(c)(3) in the event of an engine failure.

(4) For airplanes with an operational automatic thrust restoration system, achieve and maintain no less than the thrust level necessary after thrust reduction to maintain, for the flaps/slats configuration of the airplane, a takeoff path engine-inoperative climb gradient of zero percent, provided that the automatic thrust restoration system will, at a minimum, restore sufficient thrust to maintain the takeoff path engine-inoperative climb gradients specified in FAR Section 25.111(c)(3) in the event of an engine failure.

(5) During the thrust reduction, coordinate the pitchover rate and thrust reduction to provide a decrease in pitch consistent with allowing indicated airspeed to decay to no more than 5 knots below the all-engine target climb speed and, in no case to less than V_2 for the airplane configuration. For automated throttle systems, acceptable speed tolerances can be found in AC 25-15, Approval of Flight Management Systems in Transport Category Airplanes.

(6) Maintain the speed and thrust criteria as described in subparagraph 6 b(3) through 6 b(5) to 3,000 feet AFE or above, or until the airplane has been fully transitioned to the en route climb configuration (whichever occurs first), then transition to normal en route climb procedures.

7. OPERATIONAL GUIDELINES.

a. Each airplane operator may apply the procedures specified in this AC to determine the following for each of its airplane types:

- (1) Close-in community NADP.
- (2) Distant community NADP.

b. For each NADP, the airplane operator should specify the altitude AFE at which thrust reduction from takeoff thrust or airplane configuration change, excluding gear retraction, is initiated.

c. Each airplane operator should limit the number of NADP's for any airplane type to no more than two.

d. Each airplane operator is encouraged to use the appropriate NADP when an airport operators requests its use to abate noise for either a close-in or distant community.

e. This AC should not be construed to affect the responsibilities and authority of the pilot in command for the safe operation of the airplane.

ANEXO III

TABLA PARA EL CÁLCULO DE LA RUIDOSIDAD PERCIBIDA (N) EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA (NPS)

(PARA BANDAS DE FRECUENCIA DE 1/3 DE OCTAVA EN Hz)

(N en *noy* y NPS en *dB*)

Fuente: *Doc 9501 - OACI*

BANDAS DE FRECUENCIA DE 1/3 DE OCTAVA (Hz)

NPS	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
60	0.59	1.00	1.40	1.81	2.08	2.51	2.93	3.26	3.57	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.59	6.01	6.90	7.92	8.49	8.49	7.92	7.39	6.01	4.89
61	0.67	1.10	1.53	1.97	2.26	2.71	3.16	3.51	3.83	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.92	6.44	7.39	8.49	9.09	9.09	8.49	7.92	6.44	5.24
62	0.77	1.21	1.66	2.15	2.45	2.93	3.41	3.78	4.11	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	5.28	6.90	7.92	9.09	9.74	9.74	9.09	8.49	6.90	5.61
63	0.87	1.32	1.81	2.34	2.65	3.16	3.69	4.06	4.41	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	5.66	7.39	8.49	9.74	10.4	10.4	9.74	9.09	7.39	6.01
64	1.00	1.45	1.97	2.54	2.88	3.41	3.98	4.38	4.73	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28	6.06	7.92	9.09	10.4	11.2	11.2	10.4	9.74	7.92	6.44
65	1.11	1.60	2.15	2.77	3.12	3.69	4.30	4.71	5.08	5.66	5.66	5.66	5.66	5.66	6.50	8.49	9.74	11.2	12.0	12.0	11.2	10.4	8.49	6.90
66	1.22	1.75	2.34	3.01	3.39	3.99	4.64	5.07	5.45	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.96	9.09	10.4	12.0	12.8	12.8	12.0	11.2	9.09	7.39
67	1.35	1.92	2.54	3.28	3.68	4.30	5.01	5.46	5.85	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.46	9.74	11.2	12.8	13.8	13.8	12.8	12.0	9.74	7.92
68	1.49	2.11	2.77	3.57	3.99	4.64	5.41	5.88	6.27	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	8.00	10.4	12.0	13.8	14.7	14.7	13.8	12.8	10.4	8.49
69	1.65	2.32	3.01	3.88	4.33	5.01	5.84	6.33	6.73	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	8.57	11.2	12.8	14.7	15.8	15.8	14.7	13.8	11.2	9.09
70	1.82	2.55	3.28	4.23	4.69	5.41	6.31	6.81	7.23	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.19	12.0	13.8	15.8	16.9	16.9	15.8	14.7	12.0	9.74
71	2.02	2.79	3.57	4.60	5.09	5.84	6.81	7.33	7.75	8.57	8.57	8.57	8.57	8.57	9.85	12.8	14.7	16.9	18.1	18.1	16.9	15.8	12.8	10.4
72	2.23	3.07	3.88	5.01	5.52	6.31	7.36	7.90	8.32	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	10.6	13.8	15.8	18.1	19.4	19.4	18.1	16.9	13.8	11.2
73	2.46	3.37	4.23	5.45	5.99	6.81	7.94	8.50	8.93	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	11.3	14.7	16.9	19.4	20.8	20.8	19.4	18.1	14.7	12.0
74	2.72	3.70	4.60	5.94	6.50	7.36	8.57	9.15	9.59	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	12.1	15.8	18.1	20.8	22.3	22.3	20.8	19.4	15.8	12.8
75	3.01	4.06	5.01	6.46	7.05	7.94	9.19	9.85	10.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	13.0	16.9	19.4	22.3	23.9	23.9	22.3	20.8	16.9	13.8
76	3.32	4.46	5.45	7.03	7.65	8.57	9.85	10.6	11.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	13.9	18.1	20.8	23.9	25.6	25.6	23.9	22.3	18.1	14.7
77	3.67	4.89	5.94	7.66	8.29	9.19	10.6	11.3	11.8	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	14.9	19.4	22.3	25.6	27.4	27.4	25.6	23.9	19.4	15.8
78	4.06	5.37	6.46	8.33	9.00	9.85	11.3	12.1	12.7	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	16.0	20.8	23.9	27.4	29.4	29.4	27.4	25.6	20.8	16.9
79	4.49	5.90	7.03	9.07	9.76	10.6	12.1	13.0	13.6	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	17.1	22.3	25.6	29.4	31.5	31.5	29.4	27.4	22.3	18.1
80	4.96	6.48	7.66	9.85	10.6	11.3	13.0	13.9	14.6	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.4	23.9	27.4	31.5	33.7	33.7	31.5	29.4	23.9	19.4
81	5.48	7.11	8.33	10.6	11.3	12.1	13.9	14.9	15.7	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	19.7	25.6	29.4	33.7	36.1	36.1	33.7	31.5	25.6	20.8
82	6.06	7.81	9.07	11.3	12.1	13.0	14.9	16.0	16.9	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	21.1	27.4	31.5	36.1	38.7	38.7	36.1	33.7	27.4	22.3
83	6.70	8.57	9.87	12.1	13.0	13.9	16.0	17.1	18.1	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	22.6	29.4	33.7	38.7	41.5	41.5	38.7	36.1	29.4	23.9
84	7.41	9.41	10.7	13.0	13.9	14.9	17.1	18.4	19.4	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	24.3	31.5	36.1	41.5	44.4	44.4	41.5	38.7	31.5	25.6
85	8.19	10.3	11.7	13.9	14.9	16.0	18.4	19.7	20.8	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	26.0	33.7	38.7	44.4	47.6	47.6	44.4	41.5	33.7	27.4
86	9.05	11.3	12.7	14.9	16.0	17.1	19.7	21.1	22.4	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	27.9	36.1	41.5	47.6	51.0	51.0	47.6	44.4	36.1	29.4
87	10.0	12.1	13.9	16.0	17.1	18.4	21.1	22.6	24.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	29.9	38.7	44.4	51.0	54.7	54.7	51.0	47.6	38.7	31.5
88	11.1	13.0	14.9	17.1	18.4	19.7	22.6	24.3	25.8	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	32.0	41.5	47.6	54.7	58.6	58.6	54.7	51.0	41.5	33.7
89	12.2	13.9	16.0	18.4	19.7	21.1	24.3	26.0	27.7	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	34.3	44.4	51.0	58.6	62.7	62.7	58.6	54.7	44.4	36.1
90	13.5	14.9	17.1	19.7	21.1	22.6	26.0	27.9	29.7	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	36.8	47.6	54.7	62.7	67.2	67.2	62.7	58.6	47.6	38.7
91	14.9	16.0	18.4	21.1	22.6	24.3	27.9	29.9	31.8	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	39.4	51.0	58.6	67.2	72.0	72.0	67.2	62.7	51.0	41.5
92	16.0	17.1	19.7	22.6	24.3	26.0	29.9	32.0	34.2	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	42.2	54.7	62.7	72.0	77.2	77.2	72.0	67.2	54.7	44.4
93	17.1	18.4	21.1	24.3	26.0	27.9	32.0	34.3	36.7	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	45.3	58.6	67.2	77.2	82.7	82.7	77.2	72.0	58.6	47.6
94	18.4	19.7	22.6	26.0	27.9	29.9	34.3	36.8	39.4	42.2	42.2	42.2	42.2	42.2	48.5	62.7	72.0	82.7	88.6	88.6	82.7	77.2	62.7	51.0
95	19.7	21.1	24.3	27.9	29.9	32.0	36.8	39.4	42.2	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	52.0	67.2	77.2	88.6	94.9	94.9	88.6	82.7	67.2	54.7
96	21.1	22.6	26.0	29.9	32.0	34.3	39.4	42.2	45.3	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	55.7	72.0	82.7	94.9	102	102	94.9	88.6	72.0	58.6
97	22.6	24.3	27.9	32.0	34.3	36.8	42.2	45.3	48.5	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	59.7	77.2	88.6	102	109	109	102	94.9	77.2	62.7
98	24.3	26.0	29.9	34.3	36.8	39.4	45.3	48.5	52.0	55.7	55.7	55.7	55.7	55.7	64.0	82.7	94.9	109	117	117	109	102	82.7	67.2
99	26.0	27.9	32.0	36.8	39.4	42.2	48.5	52.0	55.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	68.6	88.6	102	117	125	125	117	109	88.6	72.0
100	27.9	29.9	34.3	39.4	42.2	45.3	52.0	55.7	59.7	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	73.5	94.9	109	125	134	134	125	117	94.9	77.2
101	29.9	32.0	36.8	42.2	45.3	48.5	55.7	59.7	64.0	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	78.8	102	117	134	144	144	134	125	102	82.7
102	32.0	34.3	39.4	45.3	48.5	52.0	59.7	64.0	68.6	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	84.4	109	125	144	154	154	144	134	109	88.6
103	34.3	36.8	42.2	48.5	52.0	55.7	64.0	68.6	73.5	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	90.5	117	134	154	165	165	154	144	117	94.9
104	36.8	39.4	45.3	52.0	55.7	59.7	68.6	73.5	78.8	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	97.0	125	144	165	177	177	165	154	125	102
105	39.4	42.2	48.5	55.7	59.7	64.0	73.5	78.8	84.4	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	104	134	154	177	189	189	177	165	134	109
106	42.2	45.3	52.0	59.7	64.0	68.6	78.8	84.4	90.5	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	111	144	165	189	203	203	189	177	144	117
107	45.3	46.5	55.7	64.0	68.6	73.5	84.4	90.5	97.0	104	104	104	104	104	119	154	177	203	217	217	203	189	154	125
108	48.5	52.0	59.7	68.6	73.5	78.8	90.5	97.0	104	111	111	111	111	111	128	165	189	217	233	233	217	203	165	134
109	52.0	55.7	64.0	73.5	78.8	84.4	97.0	104	111	119	119	119	119	119	137	177	203	233	249	249	233	217	177	144
110	55.7	59.7	68.6	78.8	84.4	90.5	104	111	119	128	128	128	128	128	147	189	217	249	267	267	249	233	189	154
111	59.7	64.0	73.5	84.4	90.5	97.0	111	119	128	137	137	137	137	137	158	203	233	267	286	286	267	249	203	165
112	64.0	68.6	78.8	90.5	97.0	104	119	128	137	147	147	147	147	147	169	217	249	286	307	307	286	267	217	177
113	68.6	73.5	84.4	97.0	104	111	128	137	147	158	158</													

AGRADECIMIENTOS

En el transcurso de mi carrera universitaria, he de agradecer a todas las personas que hicieron posible cumplir cada una de mis metas, desarrollarme como estudiante y futuro profesional.

He de agradecer a mi entorno más cercano, mis padres (*Juan Enrique y Sara*) y hermanos (*Eduardo, Javier, y Carmen Gloria*) por la paciencia y su constante apoyo en todo ámbito de la vida, mis compañeros y amigos de universidad, y a mis amigos en general.

Agradezco la formación que me ha brindado esta casa de estudios, especialmente a los excelentes docentes, ya que es en estos momentos cuanto realmente se valoran, los profesores del Instituto de Matemática, Física, y del Instituto de Acústica.

Además, le doy mis agradecimientos a Enrique Suárez, profesor patrocinante, el cual siempre tuvo la disposición de apoyarme y guiarme en el trabajo de ésta tesis, así como también agradecer a Igor Valdebenito por su excelente disposición de introducirme en el ámbito de la acústica ambiental en CONAMA.

Finalmente quiero agradecer a las personas que me suministraron valiosa información y me asesoraron para el desarrollo de este trabajo, al Sr. José Luis Barros y al Sr. Antonio Marzzano, a las empresas Ingeniería en Control Acústico Ltda., y Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.